

RÉPUBLIQUE UNIE
DU CAMEROUN

HYDROLOGIE DES MAYOS
DU NORD CAMEROUN

MONOGRAPHIE DE LA TSANAGA

Rapport Terminal



J. F. NOUVELOT

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER

REPUBLIQUE UNIE DU CAMEROUN

HYDROLOGIE DES MAYOS DU NORD CAMEROUN
MONOGRAPHIE DE LA TSANAGA

Rapport terminal

par

J.F. NOUVELOT

Décembre 1972

RESUME

Le mayo TSANAGA se caractérise, d'une part par son caractère torrentiel peu courant dans l'Afrique de l'Ouest ; d'autre part par l'endoreïsmisme de la zone aval.

Les matériaux les plus grossiers arrachés aux zones montagneuses se retrouvent sous forme de colluvions dans les bas de pentes ou dans le lit même du mayo dans lequel subsiste en saison sèche une nappe d'inféro-flux ; les matériaux les plus fins vont se déposer dans les vastes plaines de la cuvette tchadienne (Yaerès). L'augmentation progressive des alluvions sableuses régularisent l'écoulement mais provoque une dégradation du réseau hydrographique favorable à l'alimentation des nappes souterraines.

ABSTRACT

Two features of the mayo TSANAGA are its torrential flow (this is unusual in West Africa) and its interior drainage in the downstream area.

The largest material removed from the mountainous areas collect as colluvia at the foot of the slopes or in the actual bed of the mayo where there remains a flow of water underground in the dry season ; the finest material is deposited in the vast plains of the Chad Basin (Yaerès). The gradual increase in sandy alluvia regularizes the flow but adversely affects the hydrographic system that favours supply to the underground waters.

Le présent rapport a été rédigé par:

J.F. NOUVELOT,

Les travaux sur le terrain ont été effectués par :

G. DELFIEU

et certains travaux de dépouillements par :

R. HOORELBECKE.

S O M M A I R E

Page

INTRODUCTION

CHAPITRE 1

LES FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME

1-1 FACTEURS GEOGRAPHIQUES

1.1.1.	Situation et cartographie	1
1.1.2.	Forme, surface, relief	2
1.1.3.	Le réseau hydrographique	5
1.1.4.	Caractéristiques géologiques	6
1.1.5.	Caractéristiques pédologiques	6
1.1.6.	Caractéristiques phytogéographiques	7
1.1.7.	Population	8

1-2 FACTEURS CLIMATOLOGIQUES

1.2.1.	Facteurs généraux du climat	9
1.2.2.	Equipement climatologique	9
1.2.3.	Températures	10
1.2.4.	Humidité de l'air	12
1.2.5.	Evaporation	14
1.2.5.1.	Evaporation PICHE	14
1.2.5.2.	Evaporation sur bac	14
1.2.6.	Insolation	15
1.2.7.	Les vents	16
1.2.7.1.	Direction des vents	16
1.2.7.2.	Force du vent	17

	Page
1.2.8. Précipitations	18
1.2.8.1. Précipitations annuelles	19
1.2.8.2. Précipitations mensuelles	22
1.2.8.3. Précipitations journalières	24
1.2.8.4. Intensités des précipitations journalières	25

CHAPITRE II

EQUIPEMENT - MESURES - OBSERVATIONS HYDRO-PLUVIOMETRIQUES

2-1 EQUIPEMENT

2.1.1. Les stations hydrométriques	26
2.1.1.1. Station de GAZAWA	26
2.1.1.2. Station de la TSANAGA à MAROUA	26
2.1.1.3. Station du KALLIAO à MAROUA	27
2.1.1.4. Station de la TSANAGA à BOGO	27
2.1.2. Le réseau pluviométrique	28

2-2 ETALONNAGE DES STATIONS

2.2.1. La TSANAGA à MAROUA	29
2.2.2. Le KALLIAO à MAROUA	30
2.2.3. La TSANAGA à BOGO	32

2-3 LES OBSERVATIONS HYDRO-PLUVIOMETRIQUES

2.3.1. Les observations pluviométriques	34
2.3.1.1. Hauteurs pluviométriques annuelles	34
2.3.1.2. Hauteurs pluviométriques mensuelles	36
2.3.1.3. Hauteurs pluviométriques journalières	36
2.3.2. Les observations hydrométriques	47

CHAPITRE III

Page

INTERPRETATION DU REGIME HYDROLOGIQUE

3-1 LES CRUES

3.1.1.	Estimation sommaire des crues exceptionnelles . . .	50
3.1.2.	Description des principales crues	51
3.1.3.	Caractéristiques des hydrogrammes	57
3.1.4.	Evolution des crues entre MAROUA et BOGO	57
3.1.4.1.	Propagation de l'onde de crue	57
3.1.4.2.	Amortissement des crues	61

3-2 LE TARISSEMENT

3.2.1.	TSANAGA à MAROUA	67
3.2.2.	KALLIAO à MAROUA	68
3.2.3.	TSANAGA à BOGO	69

3-3 BILAN HYDROLOGIQUE

3.3.1.	Equation du bilan hydrologique	70
3.3.2.	Corrélations hydro-pluviométriques	72
3.3.2.1.	Hauteurs pluviométriques annuelles. . .	72
3.3.2.2.	Hauteurs pluviométriques mensuelles . .	73

CHAPITRE IV

MESURES COMPLEMENTAIRES

4-1 MESURE DE L'INFERO-FLUX

4.1.1.	Méthode de mesure	75
4.1.2.	Résultats obtenus	77
4.1.2.1.	Vitesse d'écoulement	77

	Page
4.1.2.2. Mesure de la section	79
4.1.2.3. Porosité	80
4.1.2.4. Caractéristiques de l'infero-flux	80
4-2 <u>MESURES DES TRANSPORTS SOLIDES</u>	
4.2.1. Campagnes de mesures	81
4.2.2. TSANAGA à BOGO	83
4.2.2.1. Etude des crues	83
4.2.2.2. Bilan	87
4.2.2.3. Conclusion	91

CHAPITRE V

RAPPEL DES RESULTATS HYDROMETRIQUES OBTENUS DE 1953 à 1956

5-1 <u>TARAGE DES STATIONS</u>	
5.1.1. TSANAGA à MAROUA	92
5.1.2. KALLIAO à MAROUA	92
5.1.3. TSANAGA à BOGO	93
5-2 <u>OBSERVATIONS HYDRO-PLUVIOMETRIQUES - BILAN HYDROLOGIQUE.</u>	
5-3 <u>CRITIQUE DES RESULTATS.</u>	
B I B L I O G R A P H I E	103
A N N E X E S	104

I N T R O D U C T I O N

=====

L'étude du mayo TSANAGA, commencée en 1954 et abandonnée, faute de crédit et de personnel, en 1956, a été reprise en 1966 et s'est poursuivie pendant cinq ans

Des mesures de vitesse de l'inféro-flux dans le lit alluvionnaire de la TSANAGA et du poids des matières solides transportées en suspension, ont été effectuées parallèlement aux mesures et aux observations hydro-pluviométriques classiques, en raison de la grande importance de ces deux facteurs hydrologiques pour les applications pratiques.

Le présent rapport est, avant tout, un ouvrage de synthèse comportant cinq parties :

- Les facteurs conditionnels du régime :
 - facteurs géographiques
 - facteurs climatologiques
- L'équipement, les mesures et les observations hydro-pluviométriques
- L'interprétation du régime hydrologique :
 - étude des crues
 - étude du tarissement
 - bilan hydrologique
- Les mesures complémentaires :
 - inféro-flux
 - transports solides
- Le rappel des résultats hydrométriques obtenus de 1953 à 1956.

CAMEROUN

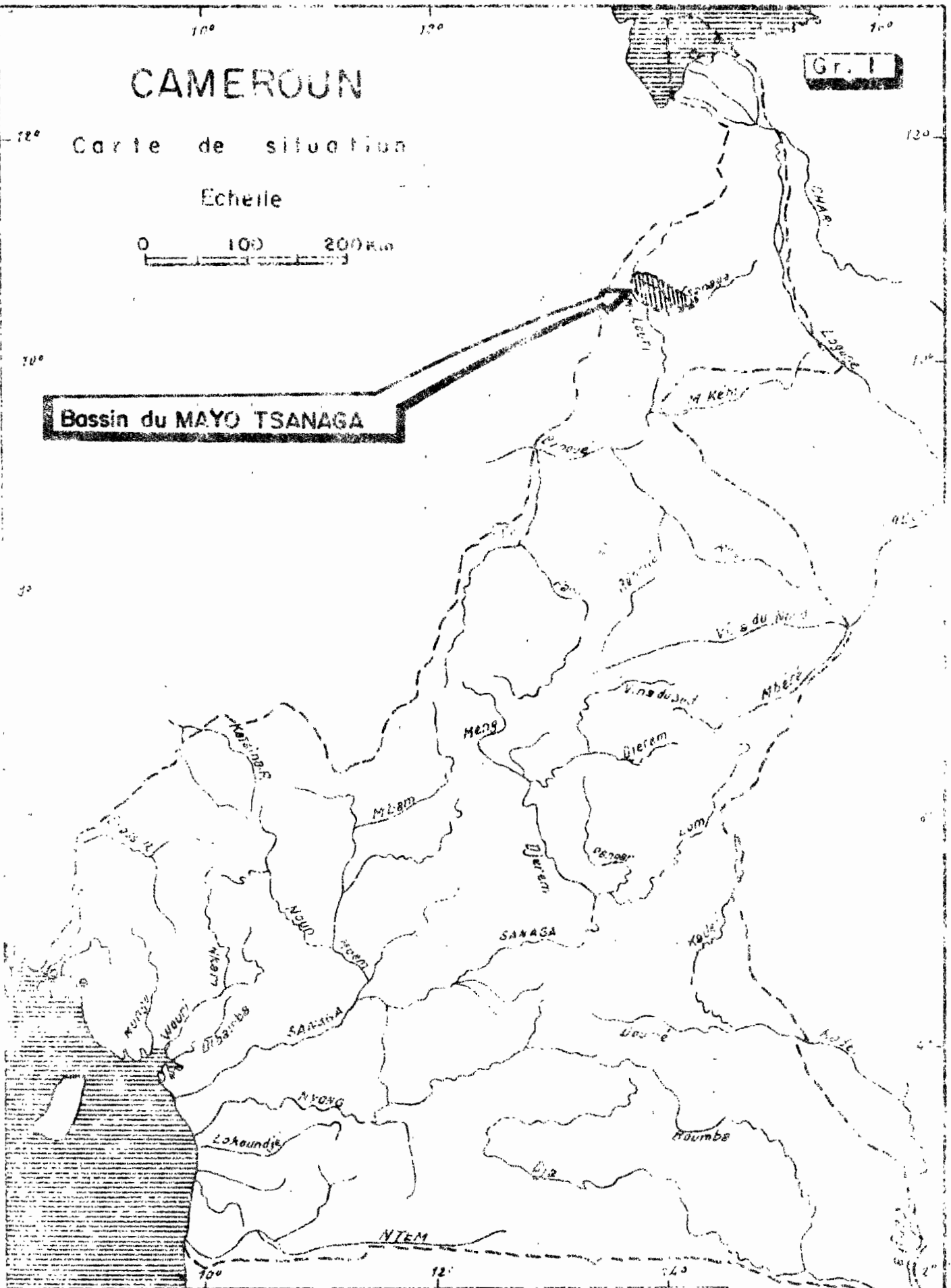
Gr. I

Carte de situation

Echelle

0 100 200 Km

Bassin du MAYO TSANAGA



C H A P I T R E I

LES FACTEURS CONDITIONNELS DU REGIME

1-1 FACTEURS GEOGRAPHIQUES

1.1.1. Situation et cartographie (Cartes n° 1, 2 et 3)

Compris entre 10°30' et 10°53' de latitude Nord, 13°42' et 14°36' de longitude Est, le bassin de la TSANAGA limité à la station de BOGO (10°44' N et 14°36' E) se situe dans la région du DIAMARE (Nord de la République Unie du Cameroun), vaste zone qui englobe, à l'Ouest, les versants orientaux des monts MANDARA et qui se prolonge vers l'Est, jusqu'au LOGONE, par une large plaine alluviale.

Allongé en forme de croissant, dans le sens Est-Ouest, le bassin est compris entre les Centres de BOGO à l'Est, et de MOKOLO à l'Ouest, MAROUA se situant approximativement dans le tiers aval.

Les documents cartographiques disponibles sont :

- Cartes de l'Afrique Centrale au 1/500.000ème, feuille "MAROUA" NC 33/34 - NO
- Carte de l'Afrique Centrale au 1/200.000ème, feuilles, "MAROUA" (NC - 33 - XV) République du TCHAD - République du Cameroun et "MOKOLO" (NC - 33 - XIV) République du Cameroun.
- Carte de l'Afrique Centrale au 1/50.000ème, feuilles "MAROUA" (NC - 33 - XV) 3a - 3b et 3c, MOKOLO (NC - 33 - XIV) 4b.

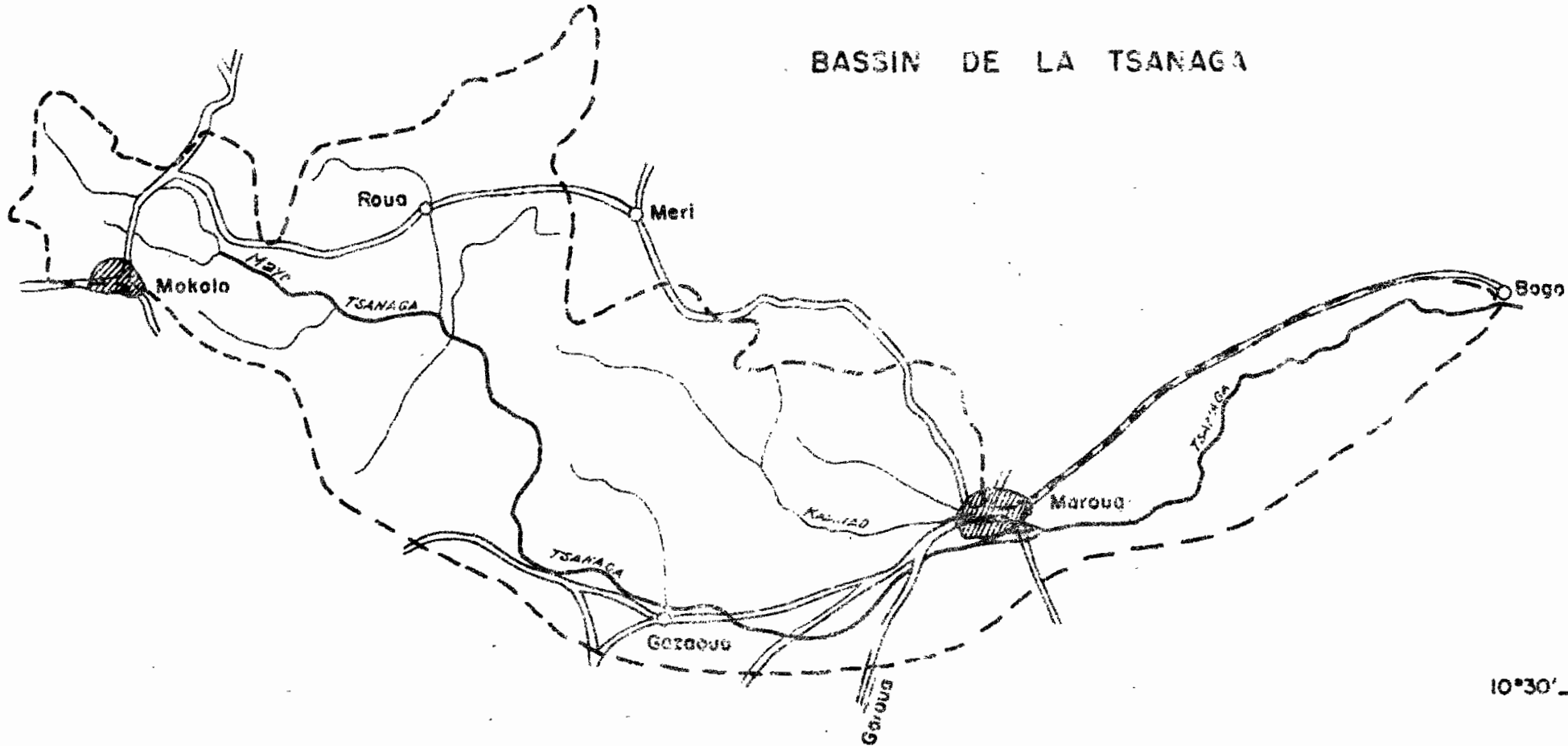
Administrativement, le bassin intéresse le département du DIAMARE (arrondissement de MAROUA, MERI et BOGO) et du MARGUI-WANDALA (arrondissement de MOKOLO).

14°00'

14°30'

Gr. 3

BASSIN DE LA TSANAGA



Echelle : 1/400.000^e

14°00'

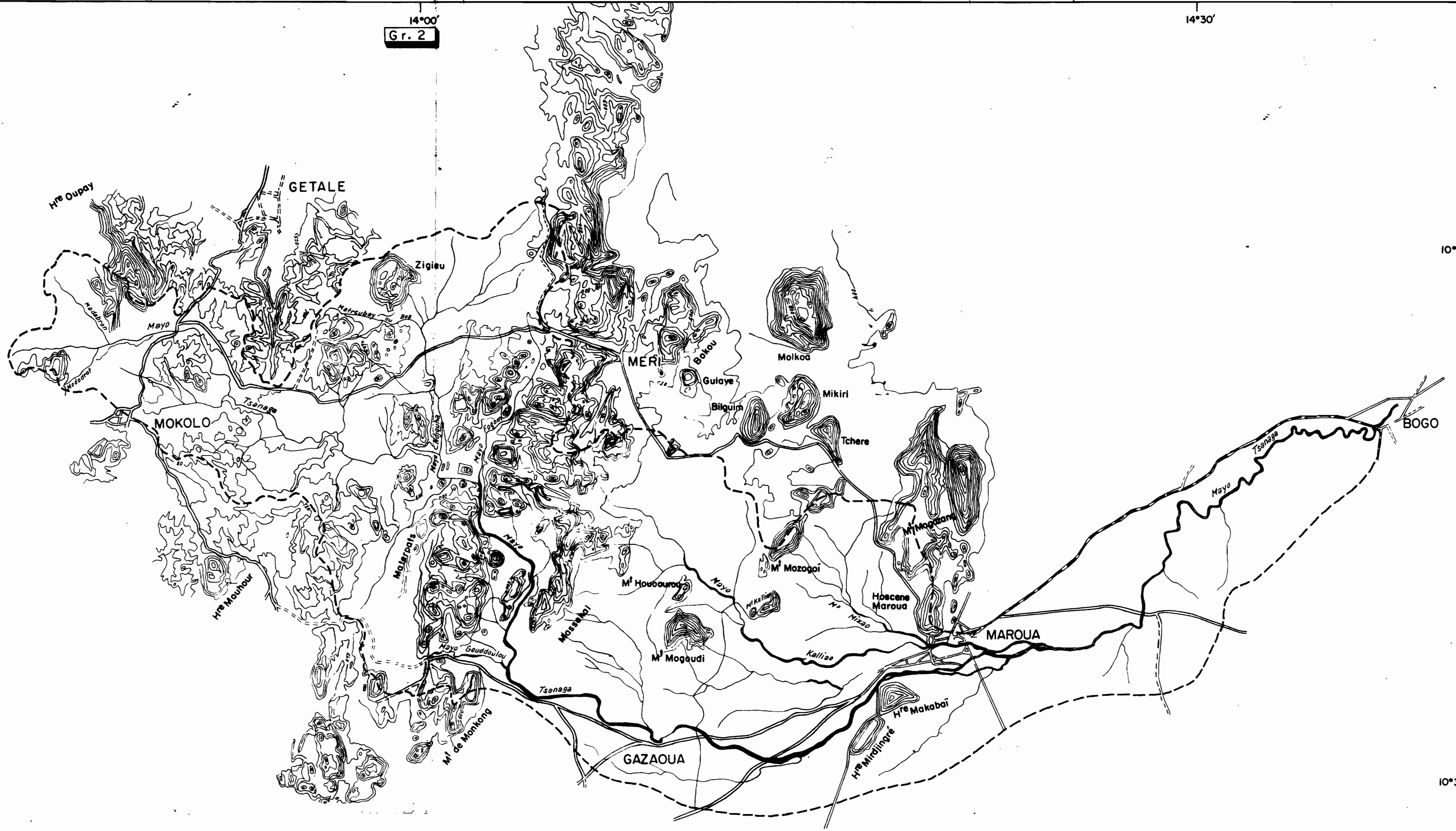
14°30'

14°00'
Gr. 2

14°30'

10°50'

10°50'



10°30'

10°30'

Echelle : 1 / 200.000

14°00'

14°30'

Les principaux axes de communications MAROUA-GAROUA, MAROUA-MOKOLO et MAROUA-BOGO sont praticables toute l'année. Les axes secondaires peuvent être coupés sporadiquement en saison des pluies, même pour des véhicules tout-terrain.

Quatre stations limnimétriques ont été aménagées dans le bassin en 1966 : 3 sont situées sur la TSANAGA et 1 sur le KALLIAO :

TSANAGA	à	GAZAWA	:	14°09' E	10°32' N
KALLIAO	à	MAROUA	:	14°20' E	10°36' N
TSANAGA	à	MAROUA	:	14°17' E	10°34' N
TSANAGA	à	BOGO	:	14°36' E	10°44' N

La station de GAZAWA inaccessible durant une partie de la saison des pluies a dû être abandonnée en 1967.

1.1.2. Forme, surface, relief (carte n° 4).

Un massif montagneux, orienté grossièrement Nord-Sud au droit de MERI, partage le bassin de la TSANAGA en deux parties avec, à l'Ouest un relief de forme tabulaire parsemé de quelques pics épars, bordé au Nord-Ouest et au Nord par les monts MANDARA dont le point culminant atteint 1425m. A l'Est du massif une plaine à pente modérée, toujours parsemée de petites montagnes descend vers MAROUA, où se situe la dernière barre rocheuse importante en direction de l'Est et des Yaérés (H^{re} MAROUA, M^t BOULORE, H^{re} MAKABAI, H^{re} MIRDJINGRE).

Entre MAROUA et BOGO le paysage est plat et monotone.

Pour chacun des trois bassins suivants :

- KALLIAO à MAROUA
- TSANAGA à MAROUA
- TSANAGA à BOGO

nous avons calculé (graphiques 5 et 6) :

- la surface A, en km²
- le périmètre stylisé P, en km
- le coefficient de forme de GRAVELIUS :

$$C = 0,282 PA^{-1/2}$$

- la longueur du rectangle équivalent :

$$L \text{ Km} = A^{1/2} \frac{C}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1,128)^2}{C}} \right]$$

- la largeur du rectangle équivalent

$$l \text{ km} = AL^{-1}$$

- l'indice de pente de ROCHE :

$$I_p = L^{-1/2} \sum_{i=1}^n (a_i d_i)^{1/2}$$

où :

- a_i représente la portion de la surface A du bassin comprise entre les courbes de niveau cotées c_i et c_{i-1}

$$- d_i = c_i - c_{i-1}$$

- l'indice globale de pente :

$$I_G = \frac{H95 \% - H5 \%}{L}$$

- l'altitude moyenne
- la dénivelée spécifique :

$$D_S = I_G A^{1/2}$$

Gr. 4

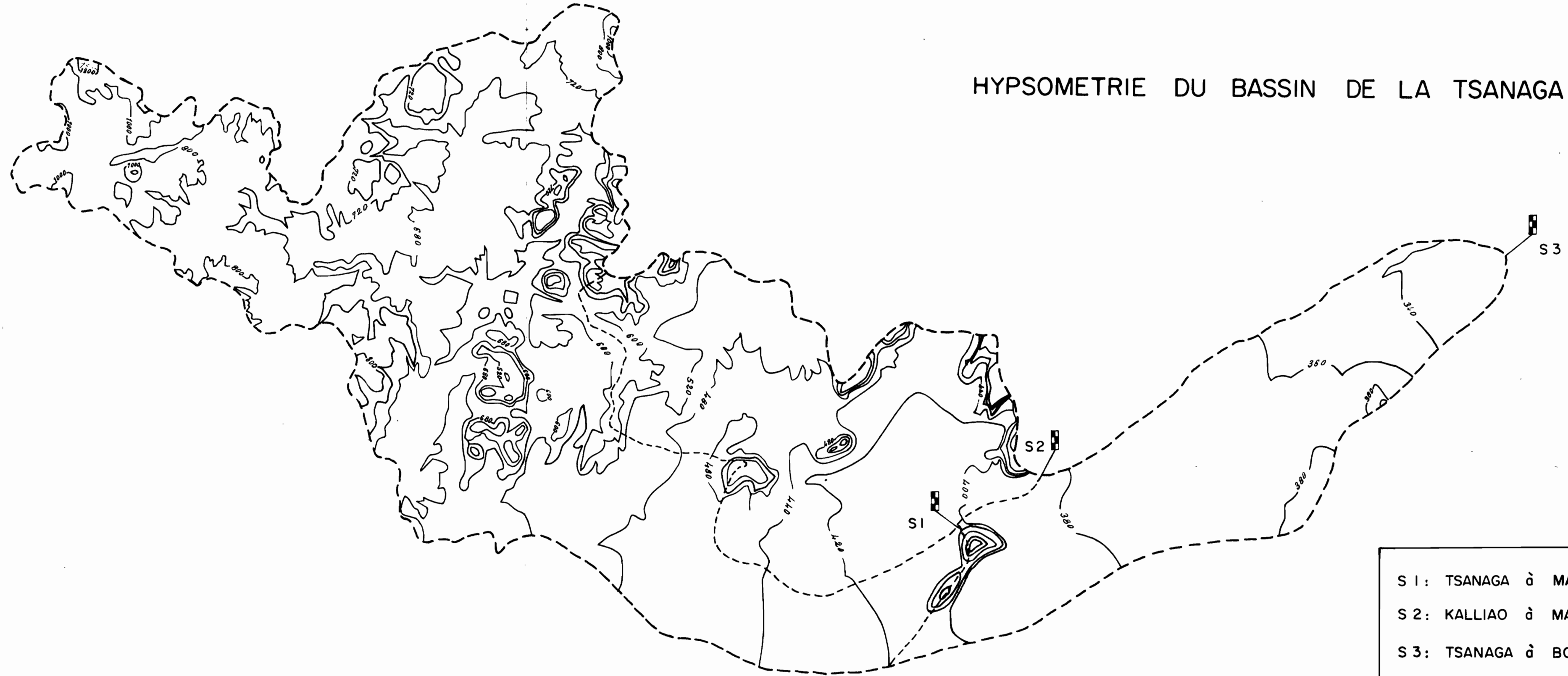
14°00'

14°30'

HYPSOMETRIE DU BASSIN DE LA TSANAGA

10°50'

10°50'



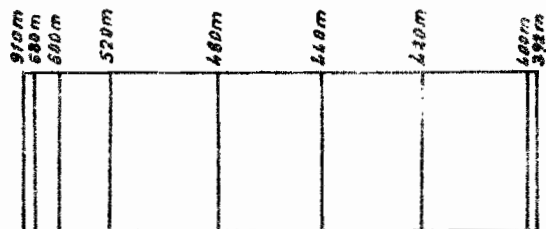
- S 1 : TSANAGA à MAROUA
- S 2 : KALLIAO à MAROUA
- S 3 : TSANAGA à BOGO

10°30'

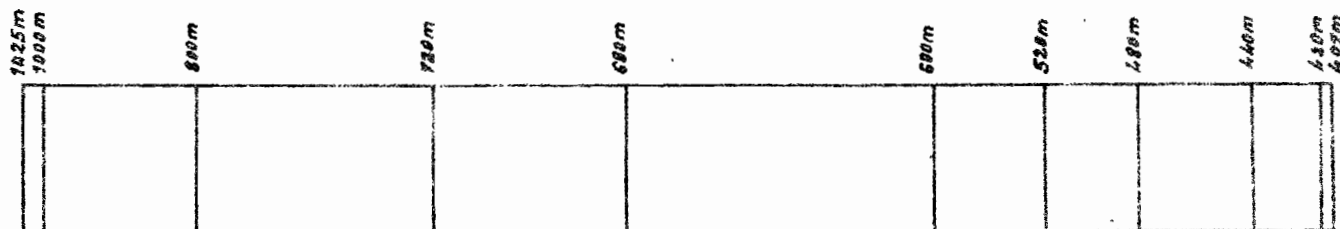
10°30'

BASSIN DE LA TSANAGA

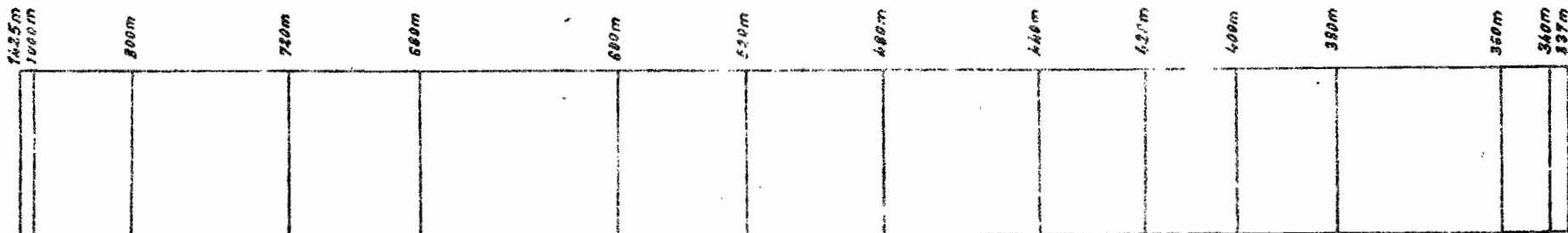
RECTANGLES EQUIVALENTS



KALLIAO à MAROUA



TSANAGA à MAROUA



TSANAGA à BOGO

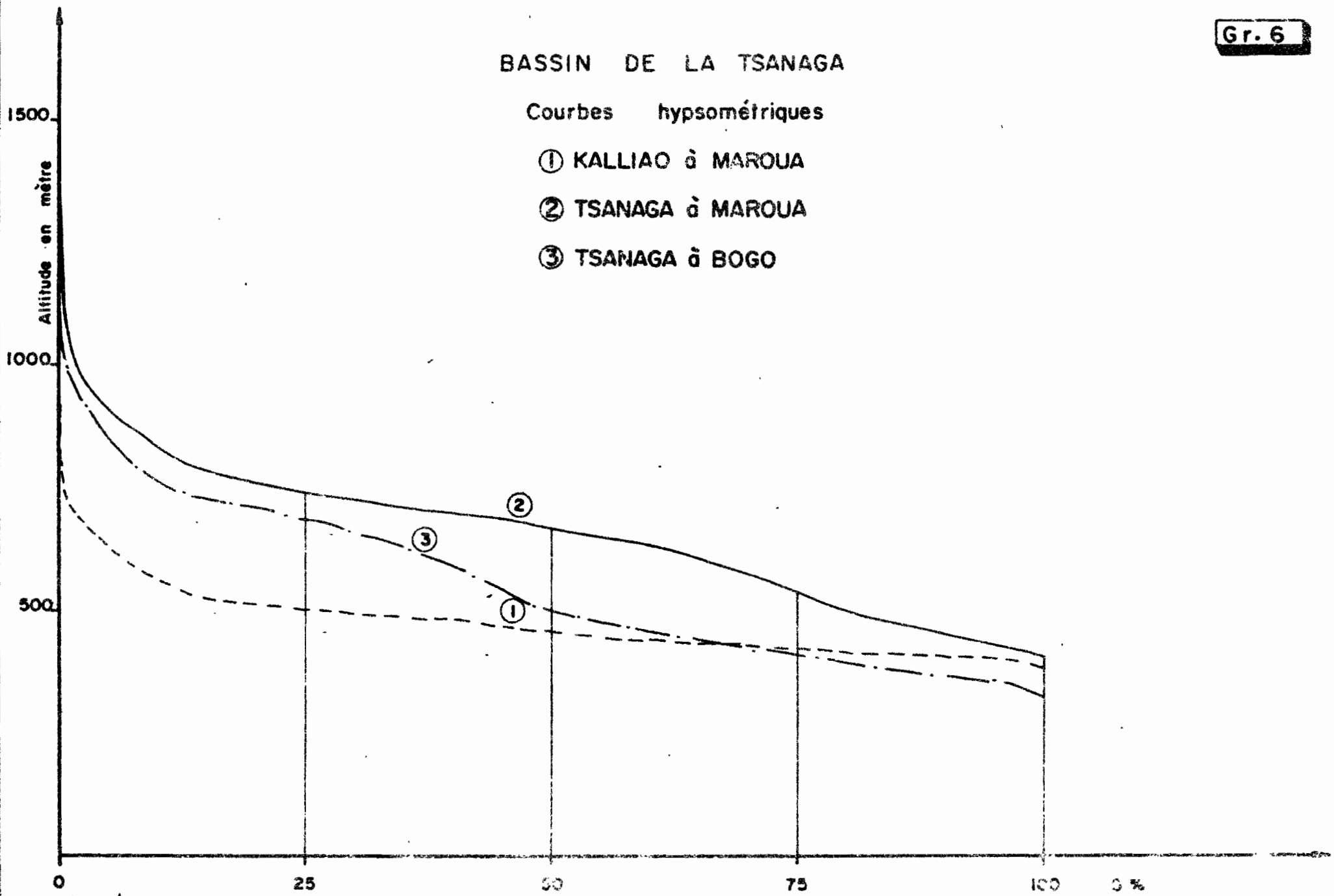
BASSIN DE LA TSANAGA

Courbes hypsométriques

① KALLIAO à MAROUA

② TSANAGA à MAROUA

③ TSANAGA à BOGO



Dans le tableau, ci-dessous, qui donne l'ensemble de ces résultats nous avons porté, également, les altitudes maximales et minimales. Tous ces paramètres ont été déterminés sur les cartes au 1/50.000ème et au 1/200.000ème.

Caractéristiques	KALLIAO à MAROUA	TSANAGA à MAROUA	TSANAGA à BOGO
Superficie	355 km ²	845 km ²	1535 km ²
Périmètre	88 km	192 km	266 km
Indice de forme	1,32	1,86	1,91
Longueur du rectangle équivalent	33,9 km	86,3 km	120,3 km
Largeur du rectangle équivalent	10,5 km	9,8 km	12,8 km
Altitude maximale	910 m	1425 m	1425 m
Altitude minimale	392 m	407 m	337 m
Hypsométrie :			
330 à 340 m d'altitude			2,0 %
340 à 360 m "			3,0 %
360 à 380 m "			11,0 %
380 à 400 m "	4,5 %		6,0 %
400 à 420 m "	19,8 %	2,5 %	6,0 %
420 à 440 m "	18,9 %	4,9 %	7,0 %
440 à 480 m "	19,5 %	8,9 %	9,7 %
480 à 520 m "	20,8 %	6,7 %	8,7 %
520 à 600 m "	9,9 %	11,0 %	8,3 %
600 à 680 m "	4,4 %	20,8 %	12,7 %
680 à 720 m "	1,3 %	14,7 %	8,3 %
720 à 800 m "	0,8 %	17,5 %	10,1 %
800 à 1000m "	0,1 %	11,4 %	6,3 %
1000 à 1200m "		1,3 %	0,8 %
1200 à 1425m "		0,3 %	0,1 %
Altitude moyenne	470 m	650 m	545 m
Indice de pente	0,093	0,087	0,074
Indice de pente global	6,93 m/Km	5,56 m/km	3,91 m/km
Dénivelée spécifique	131 m	162 m	153 m

En conclusion nous pouvons dire que ces trois bassins sont longiformes (particulièrement la TSANAGA à MAROUA et à BOGO) et qu'ils ont un relief assez fort. Ils seraient classés en R5 dans la classification de J. RODIER et C. AUVRAY.

1.1.3. Le Réseau hydrographique

Dans le bassin supérieur le collecteur principal se distingue sans ambiguïté à quelques kilomètres seulement de sa source qui se situe à une altitude de 910 m environ, tout près de MOKOLO. Mis à part les mayos MODODROF et ROUA, les principaux affluents rencontrés sur cette partie du bassin se situent surtout en rive gauche : Mayos MADABRON, BAO, SOULEDE, NDOUHA et surtout FOGOM. Les pentes longitudinales sont toutes supérieures à 5 m/km.

On peut considérer que le bassin moyen commence à l'aval du confluent du mayo FOGOM après que la TSANAGA ait franchi le massif des Hosserés MATERPATS, MAMBAI et METONEKEH. La pente tend à se stabiliser aux alentours de 3 m/km. C'est dans cette partie du bassin que se situe le mayo KALLIAO qui se jette dans la TSANAGA à hauteur de MAROUA après avoir reçu son principal affluent le mayo MIZAO.

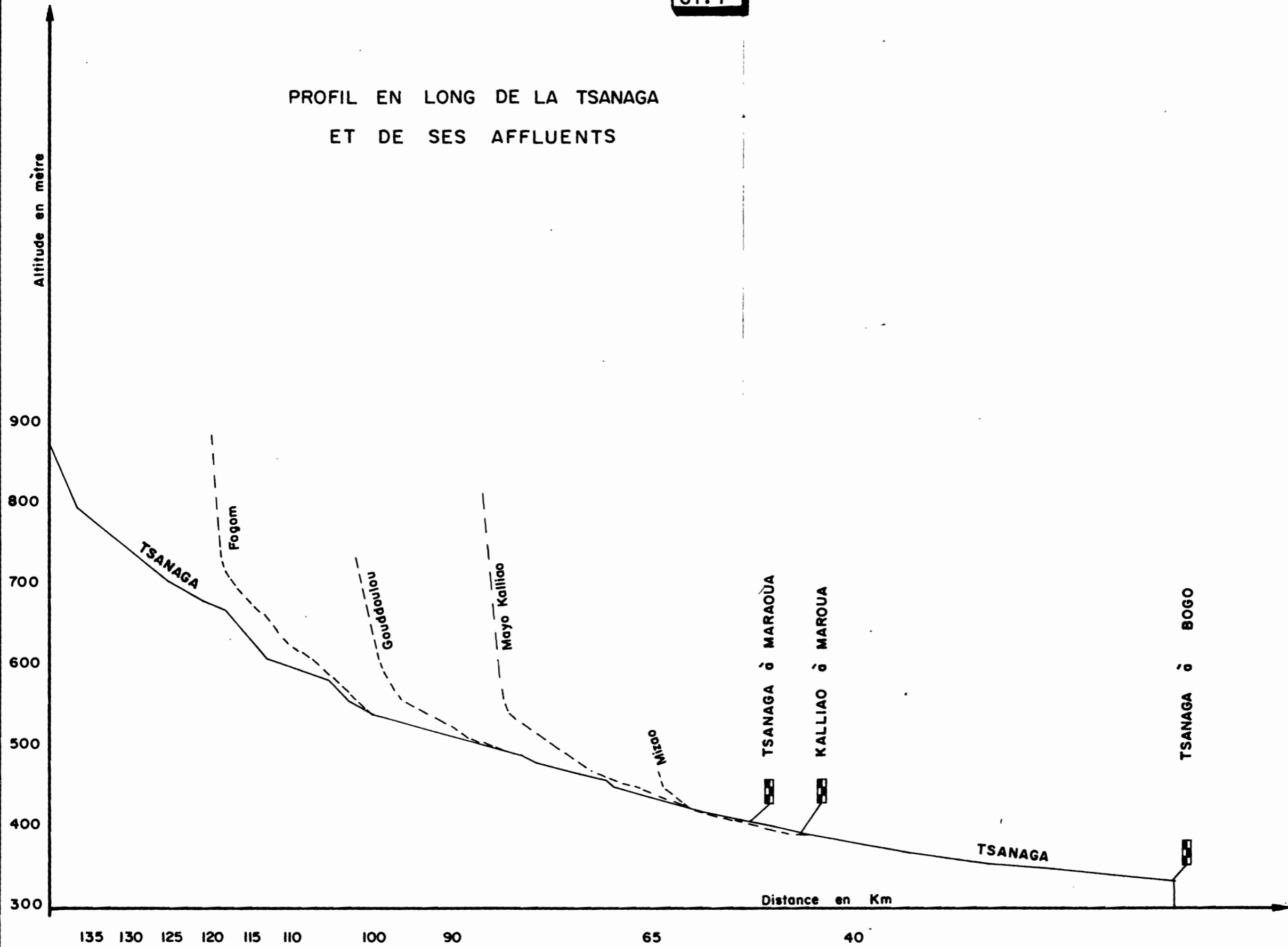
Le KALLIAO a, sur une trentaine de kilomètres, depuis son confluent, une pente identique à celle de la TSANAGA, mais elle devient bien plus forte vers l'amont.

A partir de MAROUA à l'Est des Hosserés MIRDJINGRE, MAKABAI et MAROUA, le bassin inférieur se caractérise par une pente relativement faible (1,5 m/km) et un réseau hydrographique dégradé.

Les seuils rocheux, surtout nombreux en amont de GAZAWA perturbent non seulement l'écoulement de surface mais également l'inféro-flux.

Gr. 7

PROFIL EN LONG DE LA TSANAGA
ET DE SES AFFLUENTS



1.1.4. Caractéristiques géologiques (carte n° 7)

(D'après J.C. DUMORT et Y. PERONNE)

On distingue :

- les massifs et inselbergs formés de roches cristallines : granites d'anatexie et granites syntectoniques, plus ou moins anciens, migmatites. Signalons l'originalité des monts de MAROUA qui sont constitués de roches vertes (roches volcaniques).

- Les formations de la zone de piemont, constituées par des roches meubles, d'origine détritique, provenant de l'érosion des massifs. Leur puissance est relativement faible : 70 m à BOGO, 35 m à MAROUA.

1.1.5. Caractéristiques pédologiques

(D'après P. SEGAIEN et M. VALLERIE)

Les sols du bassin de la TSANAGA sont très diversifiés.

- Dans le bassin supérieur, entre MOKOLO et GAZAWA, on trouve la roche-mère, non altérée, avec des arènes détritiques; ainsi que des lithosols peu évolués, pauvres en argile et en matière organique, essentiellement sableux (80 %) avec une forte proportion (35 à 50 %) de cailloux, mal protégés contre l'érosion.

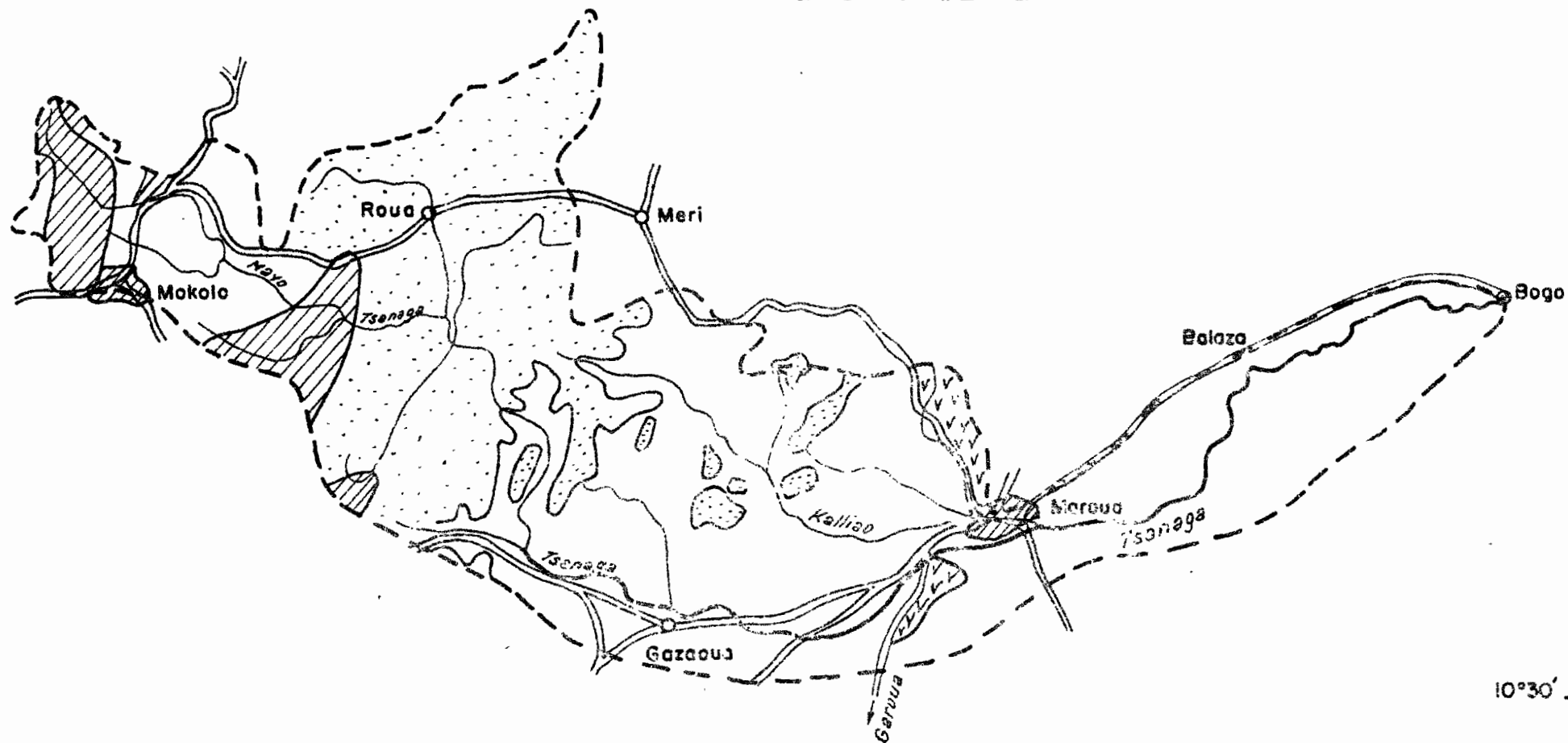
- Entre GAZAWA et MAROUA, le long de la vallée des mayos TSANAGA et KALLIAO, on rencontre, également des sols peu évolués. Ce sont des sols dérivés de matériaux meubles (alluvions ou pédiments) sablo-argileux avec, très fréquemment, des graviers, généralement quartzeux. Certains sols de piemont sont des sols gris sub-arides, en début d'évolution, tendant vers des sols halomorphes. Ils sont très compacts et ne prêtent mal aux travaux aratoires; la présence d'argile dès 20 à 50cm de profondeur les rend imperméables; ils sont, de plus, mal drainés.





14°00'

14°30'

Gr. 7

BASSIN DE LA TSANAGA



-  Roches plutoniques-granites
-  Roches métamorphoniques migmatites
-  Dépôts sableux de plaine
-  Roches basiques : andésites, basaltes

Echelle : 1/400.000^e

14°00'

Exquisse géologique

14°30'

date

des.

10°30'

10°30'

Enfin, d'autres sols de piemont sont des vertisols, évolués, constitués par des argiles foncées, calcaires ou non et légèrement sableuses.

- Les grandes unités de sols déjà décrites précédemment, se retrouvent dans le bassin inférieur, entre MAROUA et BOGO, avec toutefois une forte proportion de sols alluvionnaires et de vertisols.

1.1.6. Caractéristiques phytogéographiques
(D'après P. SEGALIN et M. VALLERIE).

La caractéristique essentielle est que le peuplement primaire a disparu, même sur les pitons rocheux. L'empreinte de l'homme ou des animaux (troupeaux) se rencontre partout.

Cependant, le couvert végétal n'est pas homogène et les arbres et arbustes que l'on peut observer sont, généralement, en relation étroite avec le sol sur lequel^{ils} se développent.

Les massifs et inselbergs portent une savane arborée de Boswellia dalzieli, en peuplement presque pur sur les monts de MAROUA, associée avec Anogeissus leiocarpus, Parkia biglobosa et Daniella Oliveri (Monts MANDARA).

Les lithosols, sur lesquels les cultures de mil sont relativement importantes portent, également, Boswellia dalzieli parfois associée avec Euphorbia et même Faidherbia albida. On peut y trouver, également, Parkia biglobosa et Daniella Oliveri.

Sur les piemonts, les sols gris portent peu de cultures. On y rencontre : Acacia hebecladoïdes, Anogeissus leiocarpus, Zizyphus mauritania, Boswellia dalzieli. Sur les vertisols, les cultures de mil sont rapidement envahies après la récolte par Bauhinia reticulata, Zizyphus mauritania ou Callotropis procera.

Sur les sols sableux bordant les mayos, se rencontrent de beaux Faidherbia albida (mayo TSANAGA) et même quelques forêts galeries le long de certains cours d'eau (mayo KAILIAO) à base Isobornia sp. et Ficus supp.

Les Eaux et Forêts ont planté autour de MAROUA dans un certain nombre de périmètres de reboisement : Cassia sp., Erythrina sp., Anacardium occidentale, Azadirachta indica etc...

1.1.7. Population

Les principaux groupes ethniques se répartissent en deux grands ensembles :

- Les Foulbé et Mandara islamisés;
- Les Kirdi ou païens (Mofou, Minéo, Guiziga, Monkélé, Banana etc...).

Très schématiquement on peut dire que le païen se cantonne dans les montagnes, alors que le musulman occupe la plaine.

Près de MAROUA les Foulbés se rencontrent sur les pénéments et alluvions, les Giziga sur les premières pentes et le pied des montagnes, les autres Kirdi, essentiellement les Mofou, sur les montagnes proprement dites.

Toutefois, les Kirdi occupent certaines plaines (TOKOMBERE, Ouest de BOULA).

Le mayo MANGAPE sépare deux régions, avec au Nord les Mandara et au Sud les Foulbés.

1.2 FACTEURS CLIMATOLOGIQUES

1.2.1. Facteurs généraux du climat

Le bassin du mayo TSANAGA est soumis au climat tropical, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison humide.

Ces variations annuelles sont régies par la position du Front Inter-Tropical (F.I.T.) qui sépare deux masses d'air de caractères totalement différents :

- l'air continental stable et sec, provenant du Nord-Est du Sahara, appelé communément "harmattan";

- l'air maritime instable et humide provenant de l'anticyclone de Sainte-Hélène, analogue à la mousson indienne et donnant des vents du secteur Sud-Ouest.

Le F.I.T. qui se déplace au cours de l'année en restant sensiblement dirigé le long des parallèles, suit avec environ un mois de retard le mouvement en déclinaison du soleil. Il peut osciller entre le 4ème parallèle Nord, en Janvier, et le 20ème parallèle Nord en Août (rappelons que MAROUA se situe à hauteur du parallèle 10° N). Immédiatement au Nord du F.I.T., le ciel est clair ou peu nuageux. C'est la zone de l'harmattan qui recouvre le bassin de la TSANAGA de Novembre à Mars. Immédiatement au Sud du F.I.T. le ciel est peu nuageux. C'est une zone de transition. Plus au Sud le ciel est couvert ou très nuageux avec des orages. C'est le type de temps que l'on observe dans le Nord-Cameroun de Juin à Septembre.

1.2.2. Equipement climatologique

Depuis 1954, une station météorologique assez complète a été installée à proximité de l'aérodrome de MAROUA-SALAK. Toutefois, une station plus modeste existait auparavant à MAROUA (Service de l'Agriculture) ainsi qu'une autre à MOKOLO.

Les précipitations sont observées à 40 postes installés dans le bassin ou à proximité :

22 postes sont observés par l'ORSTOM

13 postes par la C F D T

5 postes par des organismes divers (météorologie, I R A T, Agriculture etc...). Rappelons, également que l'ORSTOM a installé et observé de 1954 à 1957, des stations climatologiques à MAROUA, GODOLA, BOGO et NOKOLO pour la mesure de l'évaporation. Des relevés psychrométriques y ont été effectués ainsi que des mesures d'évaporation sur bac.

1.2.3. Température (graphiques 8 et 9).

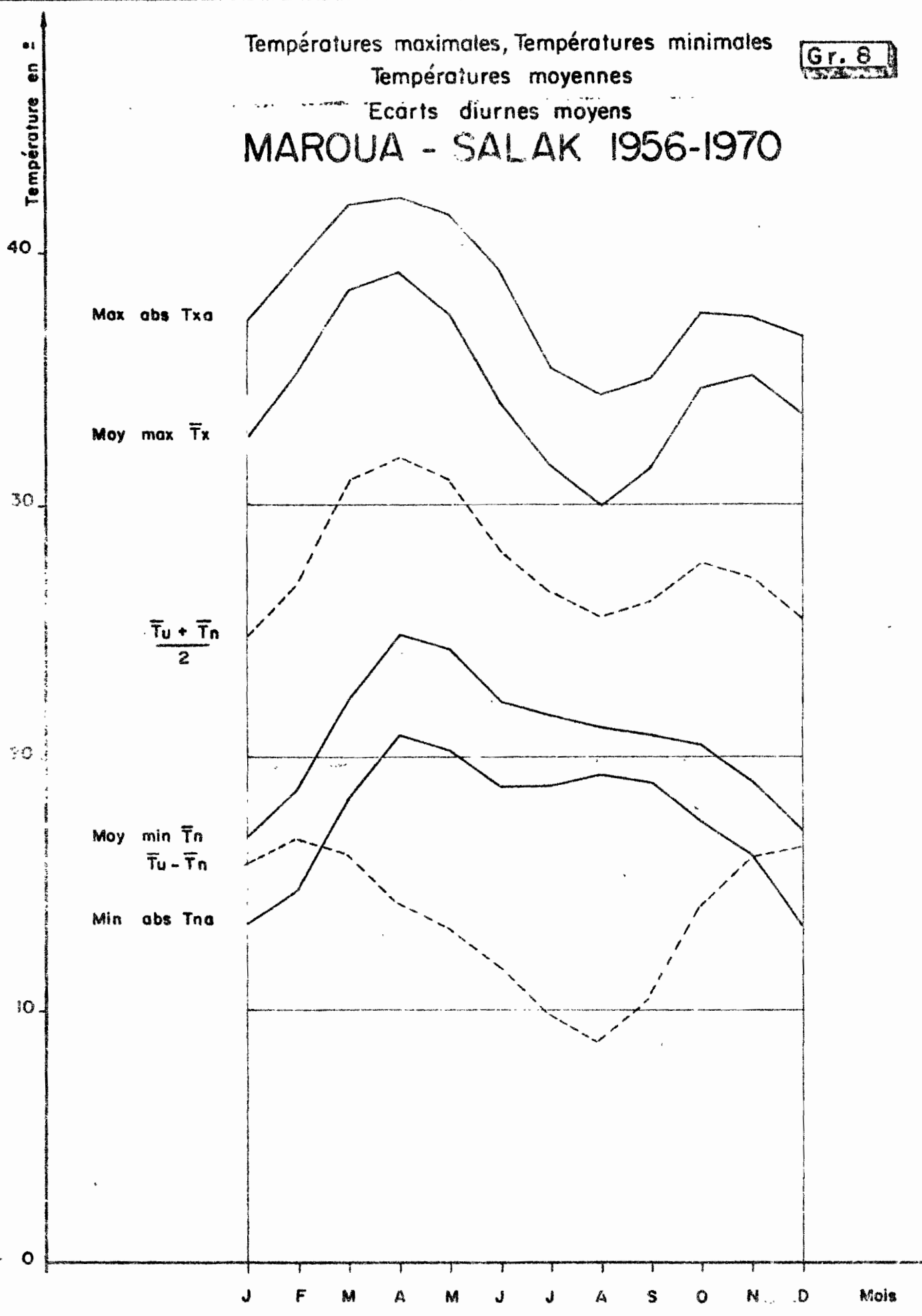
(Source de renseignement : Direction de la Météorologie Nationale du Cameroun).

Nous avons pour ^{la} station de MAROUA-SALAK regroupé dans différents tableaux les moyennes calculées sur une période de 15 ans (1956-1970) de :

- la température maximale observée au cours du mois:
 T_{xa}
- la moyenne mensuelle des températures maximales journalières : \bar{T}_x
- la moyenne mensuelle des températures minimales journalières : \bar{T}_n
- la température minimale observée au cours du mois:
 T_{na}
- la température moyenne mensuelle : $\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$
- l'écart diurne moyen mensuel : $\bar{T}_x - \bar{T}_n$.

Températures maximales, Températures minimales
 Températures moyennes
 Ecarts diurnes moyens
MAROUA - SALAK 1956-1970

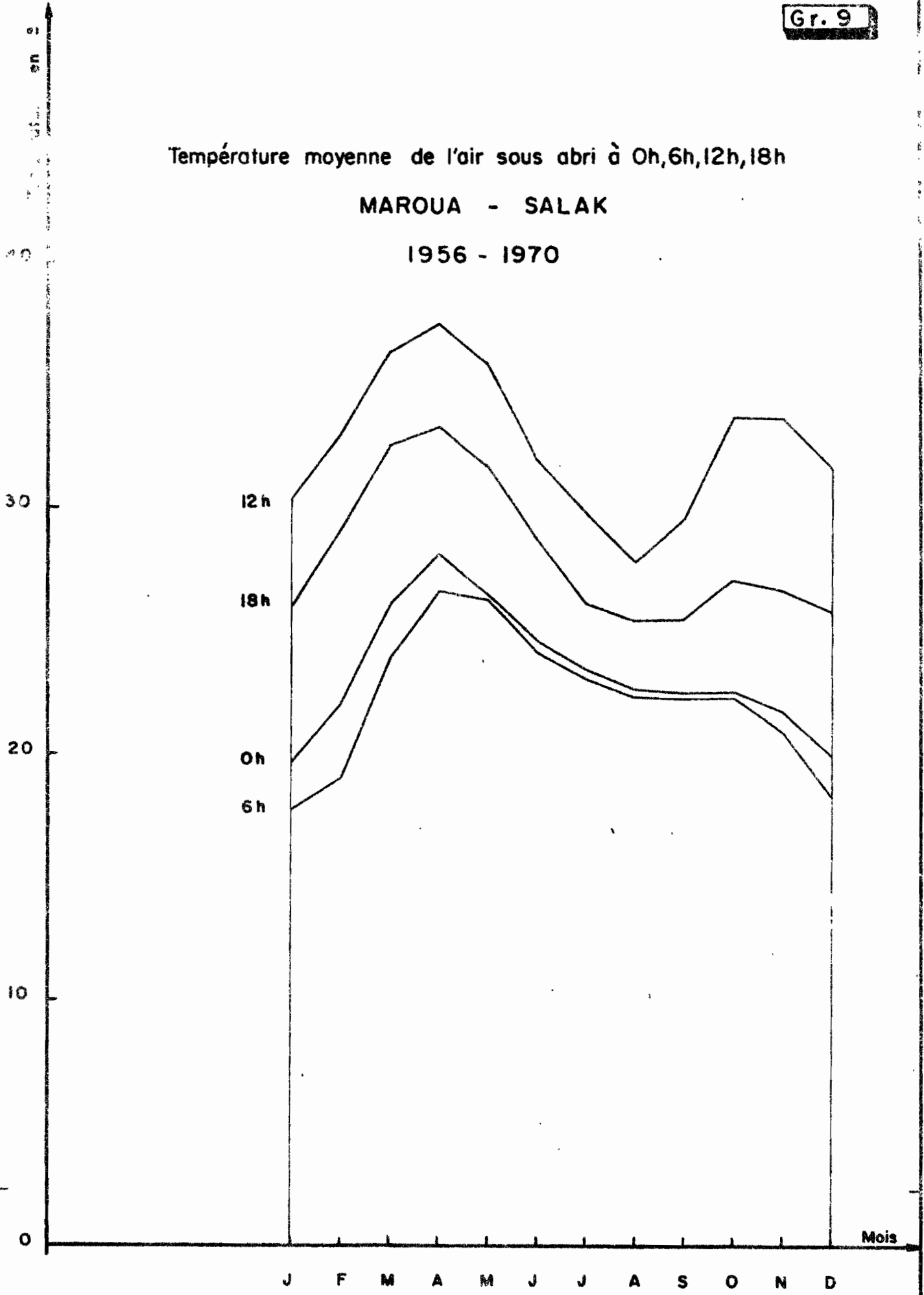
Gr. 8



Température moyenne de l'air sous abri à 0h,6h,12h,18h

MAROUA - SALAK

1956 - 1970



MAROUA-SALAK

$$T_{xa}; \bar{T}_x; \bar{T}_n; \frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}; \bar{T}_x - \bar{T}_n.$$

1956 - 1970

	J	F	M	<u>A</u>	M	J	J	A	S	O	N	D
T_{xa}	37,3	39,6	41,9	<u>42,2</u>	41,5	39,3	35,5	34,4	35,0	37,6	37,4	36,7
\bar{T}_x	32,7	35,3	38,5	<u>39,2</u>	37,6	34,0	31,6	30,0	31,5	34,6	35,1	33,6
\bar{T}_n	<u>16,9</u>	18,6	22,3	24,9	24,3	22,2	21,7	21,2	20,9	20,5	19,0	17,1
T_{na}	13,4	14,8	18,4	20,9	20,3	18,0	18,9	19,3	19,0	17,5	16,1	<u>13,3</u>
$\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$	24,9	27,0	30,8	<u>31,9</u>	31,0	28,2	26,6	25,6	26,2	27,7	27,1	25,3
$\bar{T}_x - \bar{T}_n$	15,8	<u>16,7</u>	16,2	14,3	13,3	11,8	9,9	8,8	10,6	14,1	16,1	16,5

Les valeurs maximales de T_{xa} , \bar{T}_x , $\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$ et $\bar{T}_x - \bar{T}_n$ ainsi que les valeurs minimales de \bar{T}_n et T_{na} sont soulignées.

La température moyenne, toujours pour la même période 1956-1970, est de 27°7, alors que l'amplitude thermique annuelle moyenne est de 7°0.

Les valeurs maximales de T_{xa} , \bar{T}_x , \bar{T}_n , T_{na} et $\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$, s'observent toutes en Avril, alors que les valeurs minimales de T_{xa} , \bar{T}_x s'observent en Août et celles de $\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$, \bar{T}_n et T_{na} en Janvier. On peut noter, également, un maximum secondaire de T_{xa} , \bar{T}_x et $\frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2}$ en Octobre - Novembre.

L'évolution des écarts diurnes moyens mensuels ($\bar{T}_x - \bar{T}_n$) est caractérisée par un maximum en Février et un minimum en Août (voir graphique 8).

MOKOLO, située à 770 mètres d'altitude (alors que la station de MAROUA-SALAK n'est qu'à 403m) a une température moyenne annuelle plus faible : 26°0. (Cette moyenne est calculée sur la période 1943-1950; mais la comparaison reste tout de même valable les écarts types sur les températures moyennes annuelles observées en climat tropical étant toujours très faibles). L'amplitude moyenne serait peu différente, puisqu'égalée à 6°9.

Les températures moyennes mensuelles observées à MAROUA-SALAK de 1956 à 1970 à 00h00, 06h00, 12h00 et 18h00 sont portées dans le tableau ci-dessous.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
00h00	19,7	22,0	26,1	<u>28,1</u>	26,4	24,6	23,4	22,6	22,5	22,5	21,7	19,9
06h00	17,8	19,0	23,9	<u>26,6</u>	26,3	24,1	23,0	22,3	22,2	22,2	20,9	18,3
12h00	<u>30,3</u>	33,0	36,3	<u>37,5</u>	35,9	31,9	29,8	27,8	29,6	33,7	33,6	31,6
18h00	26,0	29,1	32,5	<u>33,3</u>	31,7	28,7	26,1	25,4	25,5	27,0	26,6	25,8

Tous les maximums sont observés en Avril alors que les minimums apparaissent en Décembre ou Janvier. Toutefois, nous pouvons noter, un maximum et un minimum secondaires respectivement en Octobre et en Août (voir graphique 9).

1.2.4. Humidité de l'air (graphiques 10 et 11)

L'humidité de l'air s'exprime par le degré hygrométrique ou humidité relative et la tension de vapeur d'eau qui y est contenue.

Ainsi l'humidité relative est définie par :

$$U \% = 100 \frac{e}{e_w}$$

e étant la tension de vapeur réelle de l'eau dans l'air

e_w la tension de vapeur saturante aux mêmes conditions de température.

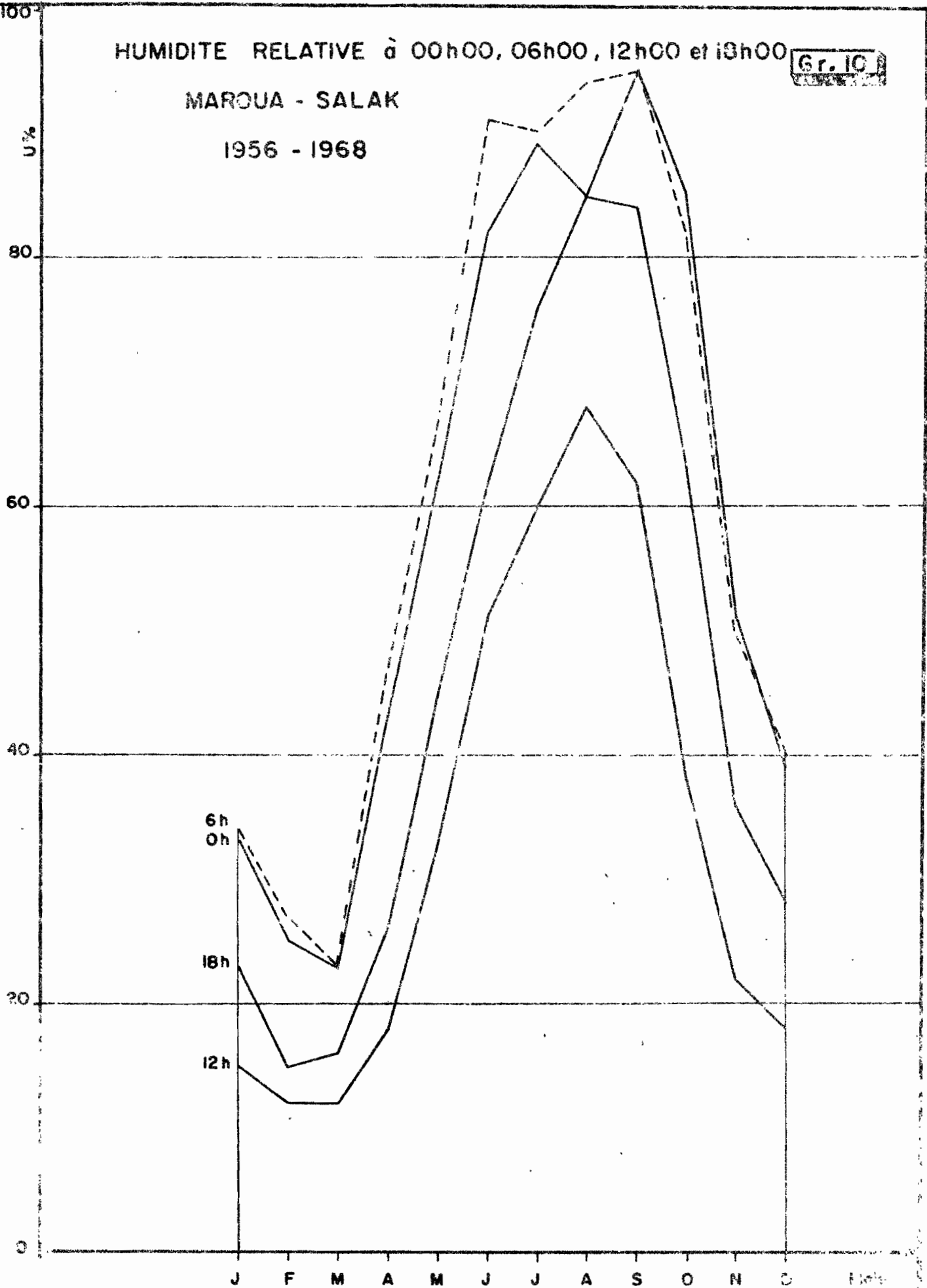
Les moyennes mensuelles de l'humidité relative ont été calculées pour la station de MAROUA-SALAK à 00h00, 06h00, 12h00 et 18h00.

HUMIDITE RELATIVE à 00h00, 06h00, 12h00 et 18h00

Gr. 10

MAROUA - SALAK

1956 - 1968



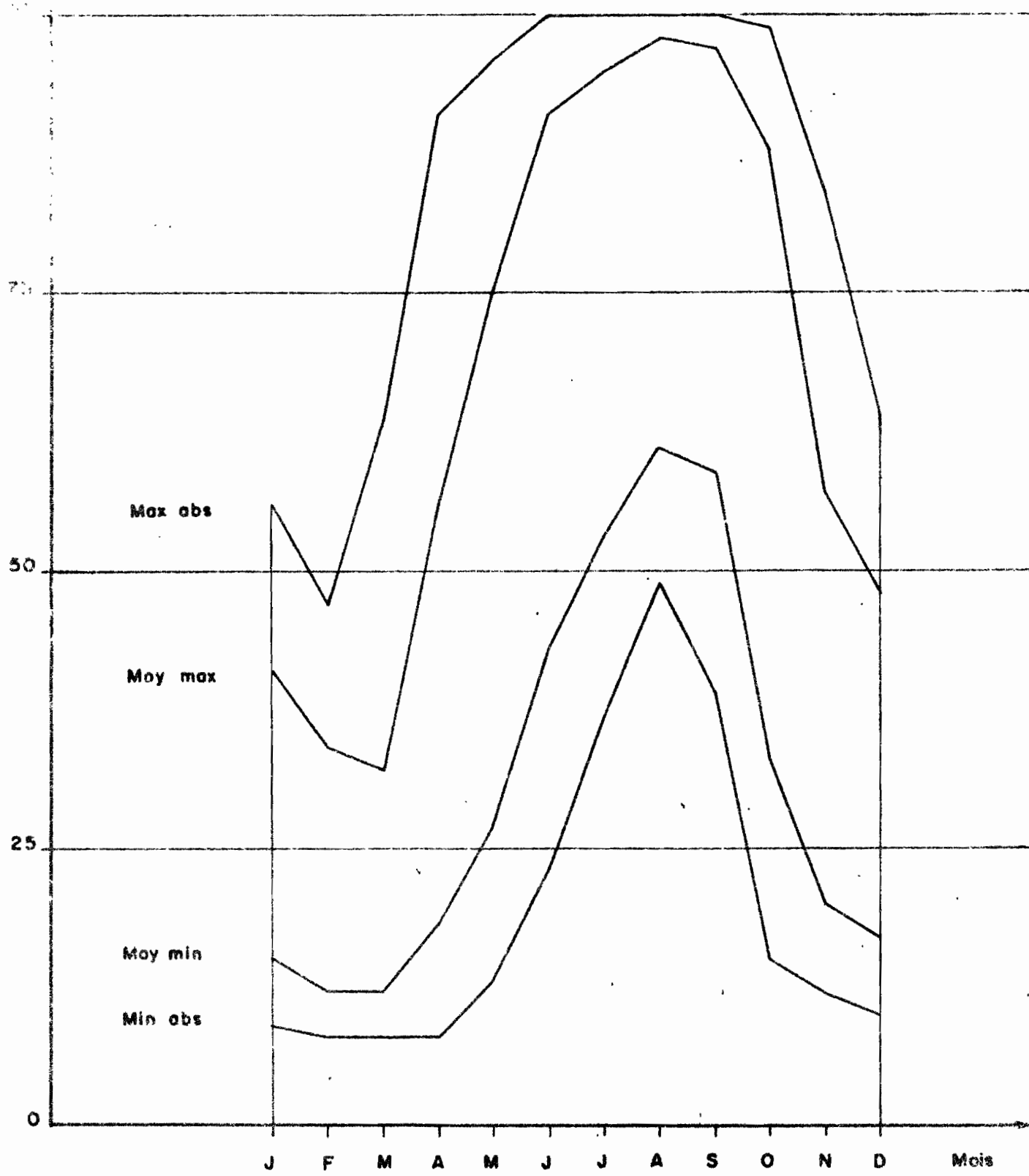
6h
0h
18h
12h

J F M A M J J A S O N D Mois

HUMIDITES RELATIVES MAXIMALES ET MINIMALES

Gr. II

MAROUA - SALAK 1956 - 1970



MAROUA-SALAK - Humidité relative (période 1956-1968)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
00h00	33	25	<u>23</u>	43	62	82	89	85	<u>95</u>	85	51	39
06h00	34	27	<u>23</u>	47	67	91	90	94	<u>95</u>	82	50	40
12h00	15	<u>12</u>	<u>12</u>	18	33	51	60	<u>68</u>	62	38	22	18
18h00	23	<u>15</u>	16	26	45	62	76	<u>85</u>	84	63	36	28

L'humidité relative passe par un maximum au cours de la nuit ou au levé du jour (une bonne partie de l'année, sauf en Avril-Mai-Juin où le maximum s'observe à 06h00, l'humidité relative varie très peu entre 00h00 et 06h00).

Le minimum est toujours observé à 12h00.

Au cours de l'année l'humidité atmosphérique passe par un maximum en saison des pluies (Juillet à Septembre suivant l'heure d'observation) et un minimum en saison sèche (Février-Mars). Ces variations étant provoquées par les déplacements Nord-Sud ou Sud-Nord du F.I.T. (voir graphique 10).

Les valeurs des moyennes mensuelles des maximums et des minimums, ainsi que les maximums et minimums mensuels absolus observés à la station de MAROUA-SALAK au cours de la période 1956-1970, figurent dans le tableau ci-dessous.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moy.Max	41	34	32	56	75	91	95	<u>98</u>	97	88	57	48
Moy.Min	15	<u>12</u>	<u>12</u>	18	27	43	53	61	59	83	20	17
Max.Abs	56	47	63	91	96	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	99	84	64
Min.Abs	9	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	13	23	37	49	39	15	12	10

Les courbes de variations annuelles ont sensiblement la même allure que celles des valeurs observées à 00h00, 06h00, 12h00 et 18h00. (voir graphique 11).

1.2.5. Evaporation

1.2.5.1. Evaporation PICHE (graphique 12)

Les valeurs mensuelles moyennes en mm de l'évaporation PICHE observées à la station de MAROUA-SALAK de 1956 à 1970 ont été regroupées dans le tableau ci-dessous.

Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
466,3	541,3	627,7	509,9	394,2	212,6	135,5	88,8	91,6	230,0	383,0	436,0	4116,9

Il apparaît très nettement sur le graphique 12 que l'évaporation est maximale en Mars et minimale en Août-Septembre quand le taux d'humidité relative est à son maximum.

1.2.5.2. Evaporation sur bac.

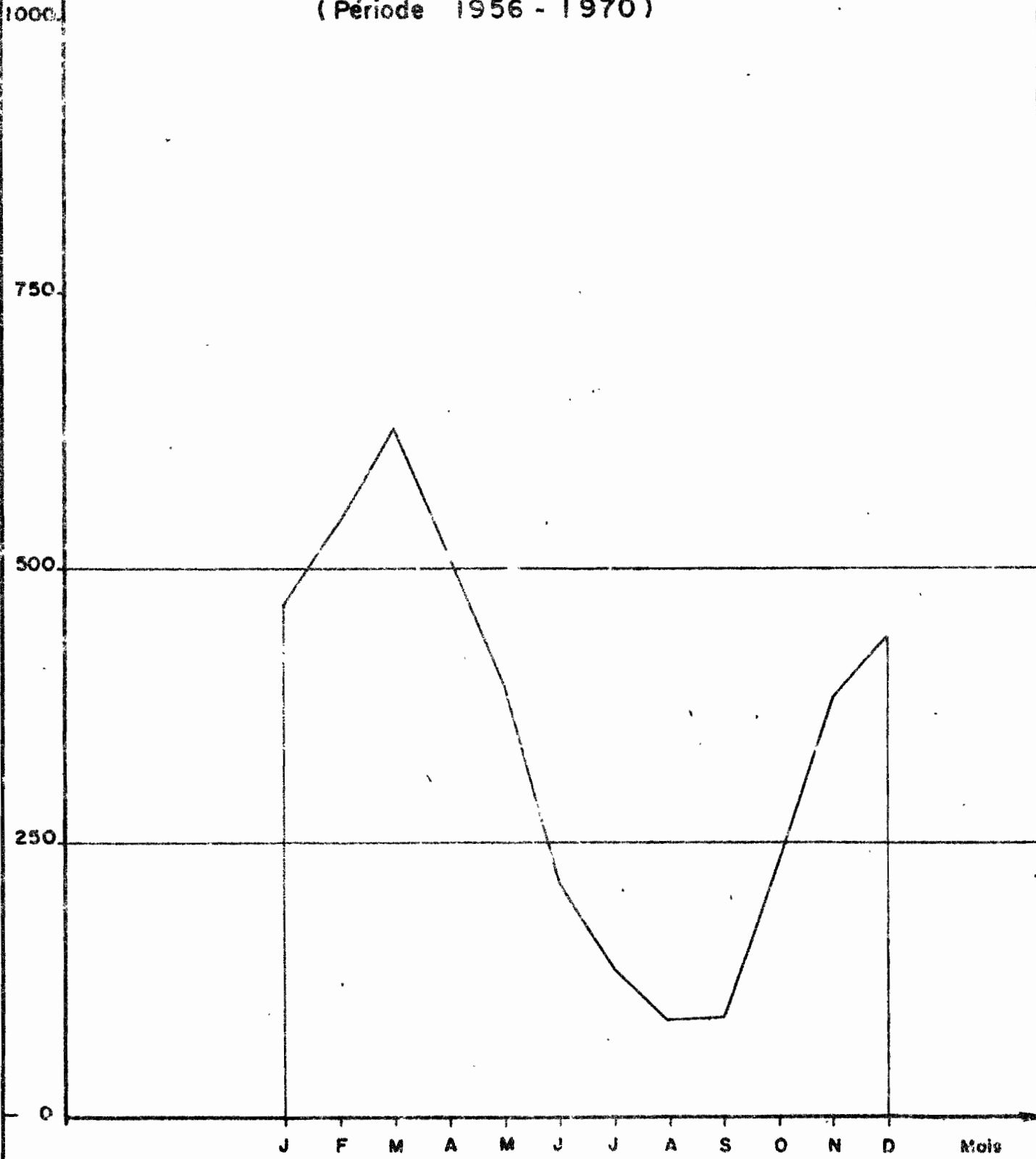
Nous rappelons les résultats des mesures effectuées par l'ORSTOM de 1954 à 1957, aux diverses stations climatologiques de MAROUA, GODOLA, MOKOLO et BOGO. L'évaporation y était mesurée deux fois par jour, sur bac COLORADO enterré. Les résultats sont assez fragmentaires et portent sur une trop courte période.

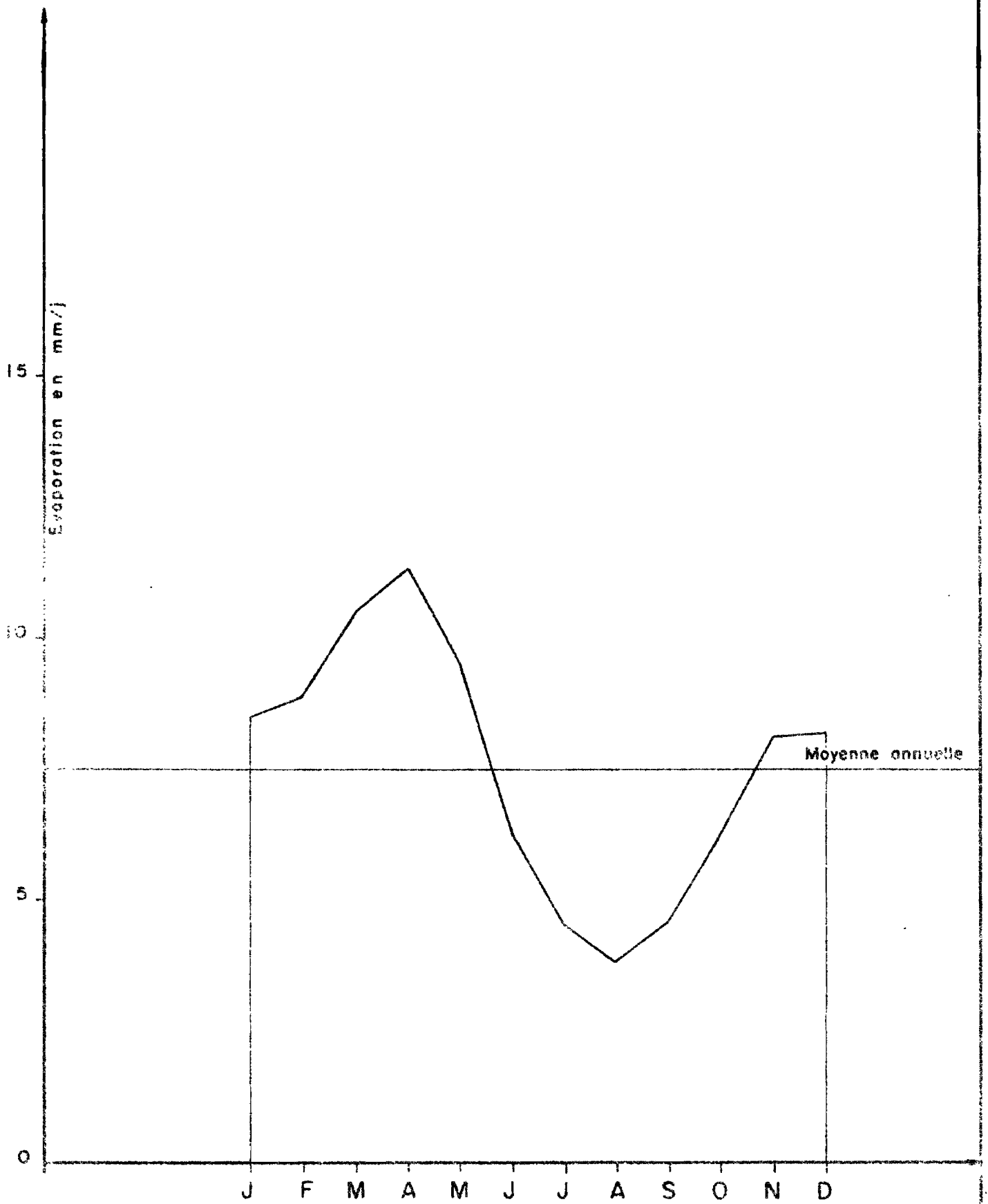
EVAPORATION MESUREE SUR BAC COLORADO (mm par jour).

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
BOGO (1953-1956)	8,3	8,7	10,2	10,6	9,8	6,8	4,3	3,9	4,8	6,1	7,9	8,8	7,5
MAROUA(1954-1956)	7,5	9,0	10,2	11,7	9,2	6,5	5,2	4,0	4,4	6,0	8,3	8,2	7,5
GODOLA(1954-1956)	(8)	9,0	(10)	(16)	9,5	6,0	4,7	3,7	4,5	6,3	7,4	7,6	7,3
MOKOLO(1954-1957)	10,1	11,3	11,1	11,5	7,9	5,2	4,1	3,6	4,8	6,4	8,3	8,0	7,7
Moyenne probable sur le bassin	8,5	8,9	10,5	11,3	9,5	6,2	4,5	3,8	4,6	6,2	8,1	8,2	7,5

(voir graphique 12 bis)

EVAPORATION - PICHE
MOYENNE MENSUELLE à MAROUA-SALAK
(Période 1956 - 1970)





BASSIN DE LA TSANAGA

Variation de l'évaporation mesurée sur bac Colorado

Les discordances mensuelles d'une station à l'autre proviennent des différences d'emplacements (plus ou moins grande ventilation à la surface de l'eau du bac, effet d'oasis si le bac est situé sur un sol portant de la végétation) et des différences climatologiques (températures, humidité). Néanmoins les moyennes annuelles sont très comparables.

La lame d'eau évaporée annuellement serait de l'ordre 2.750mm, ce qui représente une évapotranspiration potentielle se situant entre 1.700 et 1.800mm par an. On peut considérer, également, que l'évaporation annuelle sur grande nappe d'eau serait de l'ordre de 2.000mm

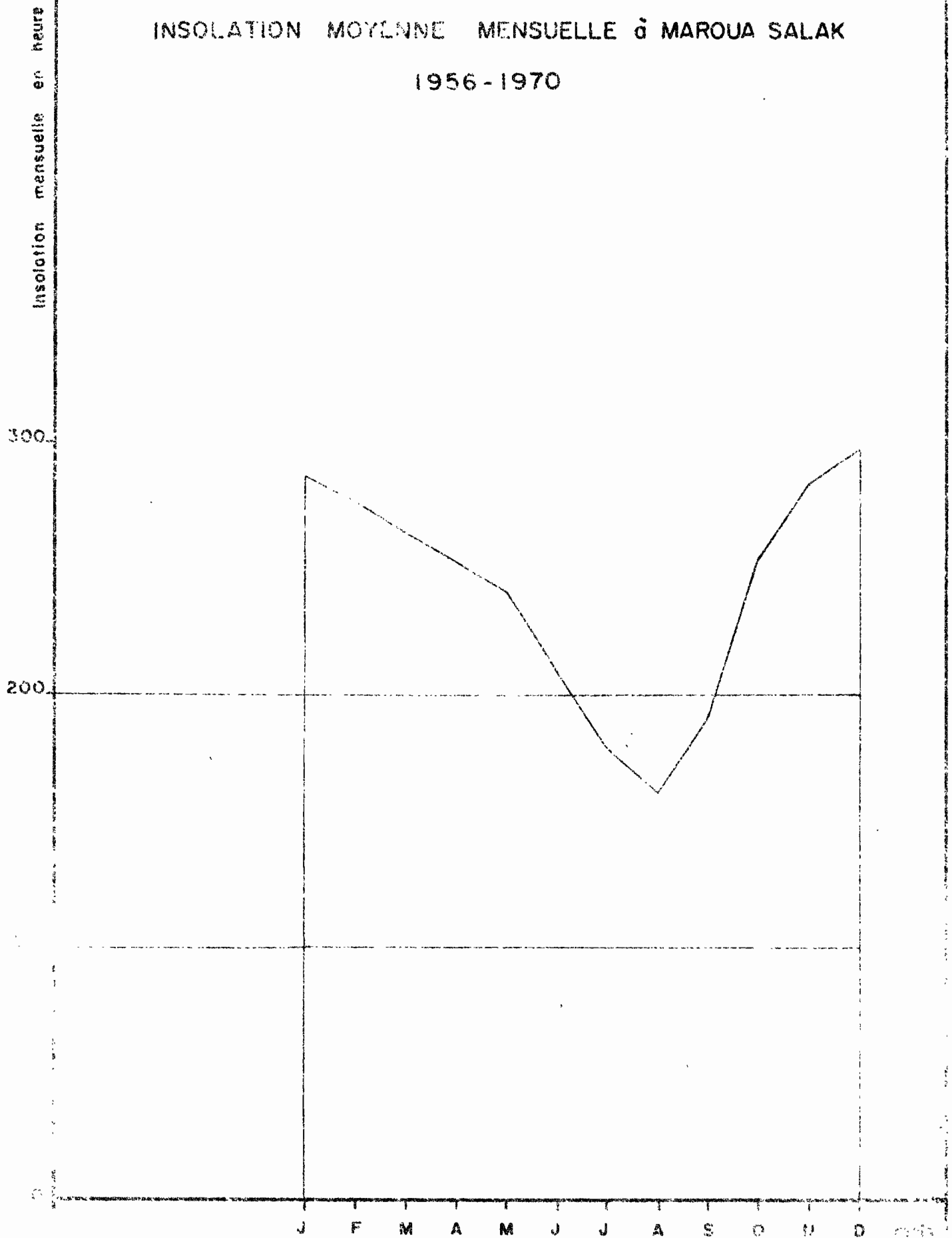
1.2.6. Insolation (graphique 13).

L'insolation moyenne mensuelle ainsi que l'insolation moyenne journalière (en heure), observées à la station de MAROUA-SALAK durant la période 1956-1970, se répartissent de la manière suivante :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Moy. mens. en heure	286,0	276,7	263,9	252,2	240,5	207,9	179,8	161,7	190,7	253,8	284,1	297,5	2894,8
Moy. jour en heure	9,2	9,9	8,5	8,4	7,8	6,9	5,8	5,2	6,4	8,2	9,5	9,6	7,9

La courbe de variations (graphique 13) est très simple avec un minimum en Août, une remontée assez rapide jusqu'en Décembre, puis, une lente décroissance jusqu'en Mai; après Mai la décroissance s'accélère. Le total annuel est voisin de 2.895 heures.

INSOLATION MOYENNE MENSUELLE à MAROUA SALAK
1956-1970



1.2.7. Les vents.

1.2.7.1. Direction des vents.

Les fréquences mensuelles de direction des vents ont été calculées à l'aide des relevés de 10 années d'observation (1961-1970) (tableau ci-dessous).

Sur le graphique 14 nous avons distingué, trois saisons :

- la saison sèche : de Novembre à Mars
- la saison des pluies : de Mai à Septembre
- les saisons de transition : Avril et Octobre.

FREQUENCE DE LA DIRECTION DES VENTS A MAROUA-SALAK

Période 1961-70

Fréquence en %

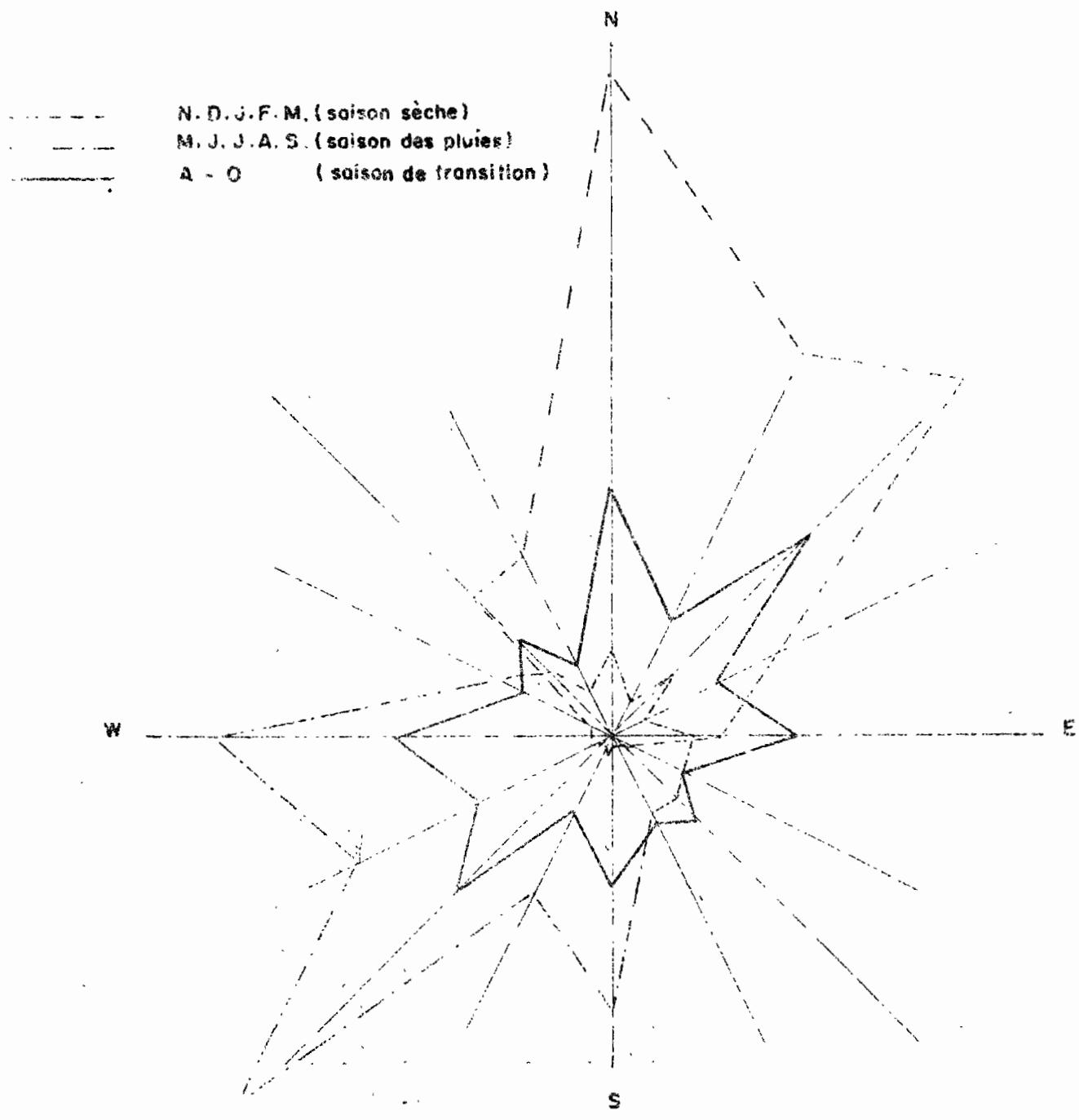
Dir ec- tion	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Saison sèche	Saison des pluies	Avril et Octobre
D	29,2	28,7	27,2	10,6	4,2	2,5	3,4	3,5	3,0	9,6	22,5	25,7	26,7	3,3	10,1
NNE	20,4	20,9	17,6	6,7	2,3	1,2	1,7	1,7	1,7	3,9	11,6	16,1	17,3	1,7	5,7
NE	23,3	21,1	19,2	10,0	4,0	2,2	2,5	3,2	6,5	12,9	26,1	24,9	22,7	3,7	11,4
ENE	5,6	7,5	7,6	3,1	1,6	0,7	0,7	1,5	2,5	6,6	8,8	7,8	7,5	1,4	4,8
E	3,4	3,3	5,9	5,8	5,3	2,3	1,4	2,6	5,0	9,3	5,3	4,2	4,4	3,3	7,5
ESE	0,5	0,6	1,0	3,6	1,2	0,9	0,7	0,9	2,2	3,1	1,1	0,3	0,7	1,2	3,3
SE	0,3	0,1	1,6	4,0	5,2	4,0	2,5	3,4	2,9	5,6	0,7	0,4	0,6	3,6	4,8
SSE	0,0	0,2	1,0	3,9	4,4	3,4	2,1	2,4	5,1	4,0	0,4	0,0	0,4	3,5	4,0
S	0,0	0,1	0,9	6,3	11,0	11,3	12,0	9,9	11,9	6,0	0,7	0,0	0,3	11,2	6,1
SSW	0,0	0,0	0,7	4,2	7,4	9,8	5,7	6,5	6,4	2,6	0,5	0,0	0,2	7,2	3,4
SW	0,0	0,1	1,1	8,2	20,7	25,1	22,6	19,8	17,6	11,0	1,5	0,0	0,5	21,2	11,5
NSW	0,0	0,0	0,5	7,3	9,7	11,8	13,6	11,1	12,1	5,1	1,3	0,0	0,4	11,7	6,2
N	0,2	0,4	2,1	9,4	14,1	16,2	18,6	19,6	12,1	8,2	2,4	0,3	1,1	16,1	8,8
WNW	1,2	0,5	0,8	4,6	4,0	3,7	6,6	6,2	5,9	3,8	1,8	1,1	1,2	5,3	4,2
NW	6,4	5,7	6,4	5,0	2,6	3,7	3,6	5,2	3,0	5,7	9,5	11,7	7,9	3,6	5,4
NNW	10,5	10,8	6,4	3,7	2,3	1,2	2,3	2,5	2,1	2,6	5,8	7,5	8,2	2,2	3,2

MAROUA SALAK

1961-1970

Fréquence de la direction du VENT

100



Durant la saison sèche, s'établit un vent de secteur Nord à Nord-Est (harmattan). De Mai à Septembre, l'air équatorial humide arrive du secteur Ouest, mais les bourrasques précédant "les tornades" soufflent généralement du Nord-Est, voire du Nord ou de l'Est.

En Avril et Octobre, époque du passage du F.I.T., ces directions préférentielles coexistent.

1.2.7.2. Force du vent (graphique 15).

Les renseignements fournis par la Météorologie du Cameroun étant assez fragmentaires, nous nous sommes contentés des données disponibles et publiées dans les Annales des Services Météorologiques de la France d'Outre-Mer : 1955.

FREQUENCE DANS LA FORCE DU VENT A MAROUA-SALAK

1 9 5 5

Fréquence en %

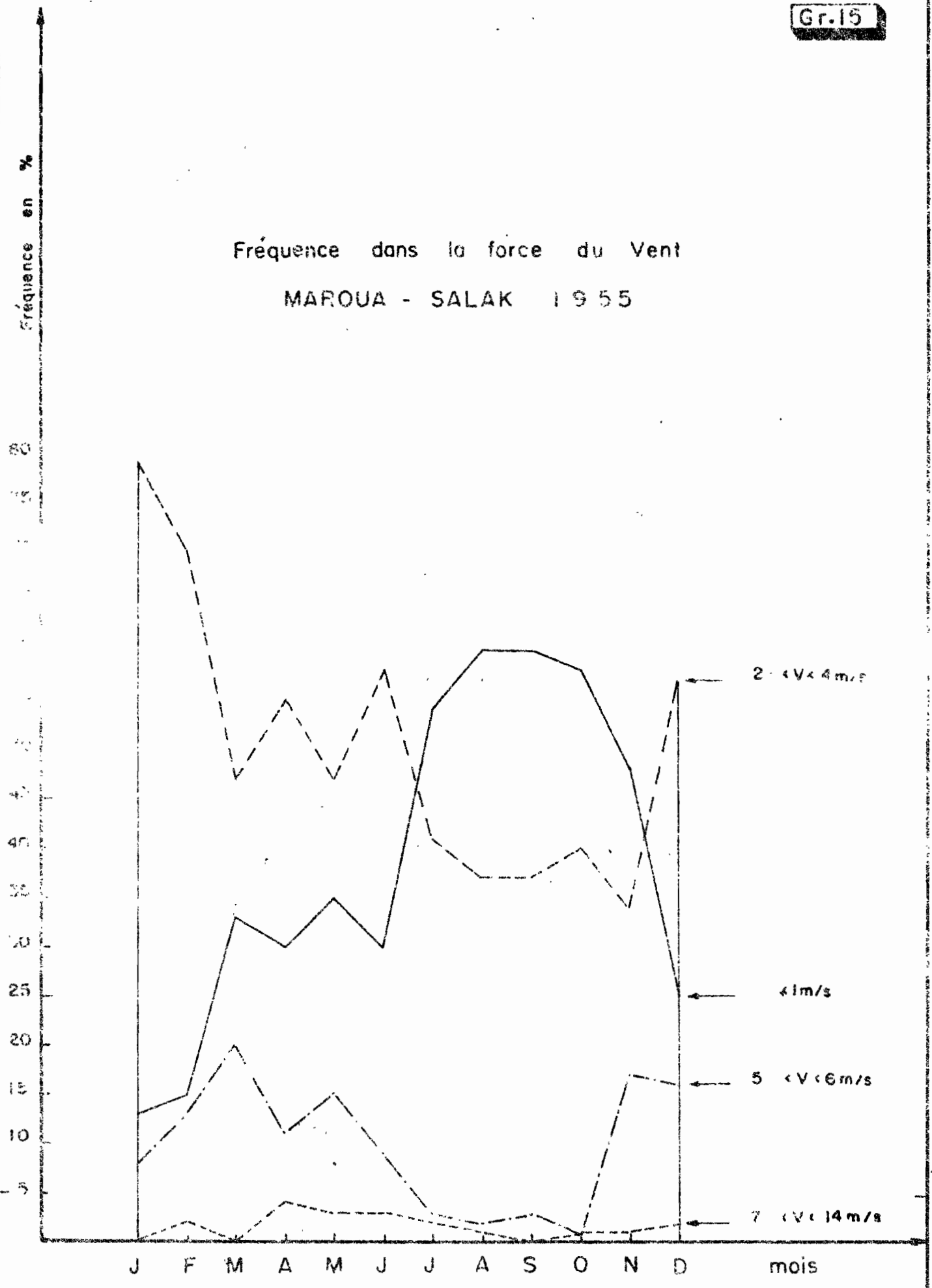
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Vent 1 m/s	13	15	33	30	35	30	54	60	60	58	48	25	38
Vent compris entre 2 et 4 m/s	79	70	47	55	47	58	41	37	37	40	34	57	50
5 et 6 m/s	8	13	20	11	15	9	3	2	3	1	17	16	10
7 et 11 m/s	0	2	0	4	3	3	2	1	0	1	1	2	2
15 m/s	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La proportion de vents dont la vitesse est comprise entre 2 et 4 m/s est égale à 50 %. Ce sont des vents qui soufflent surtout en saison sèche de Décembre à Juin (Harmattan).

Les vents calmes représentent 38 % et s'observent surtout en saison des pluies.

Fréquence dans la force du Vent

MAROUA - SALAK 1955



Les vents dont la vitesse est supérieure à 5 m/s sont relativement rares et soufflent principalement aux inter-saisons : fin de saison sèche - début de saison des pluies, fin de saison des pluies - début de saison sèche.

En conclusion on peut noter que les vents sont rarement très violents, excepté avant les "tornades" de début et de fin de saison des pluies.

1.2.8. Précipitations.

Les précipitations sont mesurées aux postes pluviométriques suivants, situés sur le bassin de la TSANAGA ou à son voisinage immédiat :

- Postes exploités par la Météorologie National :

MAROUA - poste	(1931 - 1954)
MAROUA - agriculture	(depuis 1946)
MAROUA-SALAK	(depuis 1953)
MOKOLO	(1934 - 1966)
SIR	(depuis 1960)

- Postes exploités par la CFDT

BALAZA	(depuis 1966)
B O G O	(1954 - 1956, puis depuis 1962)
BOREI	(depuis 1966)
DOYANG	(depuis 1967)
GAWAR	(depuis 1964)
GODOLA	(1954 - 1955, puis depuis 1962)
MANGAFE	(depuis 1966)
MESKINE	(depuis 1965)
OURO-ZANGUI	(depuis 1963)
PAPATA	(depuis 1963)
ZONGOYA	(depuis 1960).

- Postes divers.

GUETALE (IRAT) (depuis 1948)

MOKIO (SEMNORD) de 1961 à 1964

DJINGLIA (Mission Catholique) depuis 1961

DOUVANGAR (Mission Catholique : 1958, 1961, 1963,
1965 à 1970).

MERI (1955 - 1957)

NGOYANG : Ferme agriculture (Suisse) depuis 1968.

1.2.8.1. Hauteurs de précipitations annuelles.

Les premières observations pluviométriques ont commencé à MAROUA en 1931. Toutefois l'étude de la distribution statistique des hauteurs pluviométriques annuelles a été faite en utilisant les données de MAROUA-Poste puis de MAROUA-Agriculture, les stations étant suffisamment proches. Le calcul de la moyenne et de l'écart-type pour la période 1946-1954 où les observations étaient faites simultanément aux deux stations a donné :

Maroua-poste : $\bar{P} = 827 \text{ mm}$ $\sigma = 139 \text{ mm}$

MAROUA-Agriculture : $\bar{P} = 815 \text{ mm}$ $\sigma = 141 \text{ mm}$

Sur la période 1931-1970 nous obtenons :

Pluviométrie annuelle moyenne : $\bar{P} = 805 \text{ mm}$

Ecart-type : $\sigma = 142 \text{ mm}$

Coefficient de variation : $C_v = 0,176$

La distribution de ces 39 hauteurs pluviométriques est très légèrement hypergaussique mais pour la pratique on peut sans aucun inconvénient l'assimiler à une distribution normale de Gauss, définie par \bar{P} et σ (graphique 16).

La médiane est de 779 mm. Une année sur 10 la hauteur pluviométrique annuelle pourra dépasser 1000 mm ou ne pas atteindre 610 mm, le coefficient $K_3 = \frac{1000}{610} = 1,64$.

Distribution des hauteurs pluviométriques à MAROUA-Agriculture
(Période 1931 - 1970)

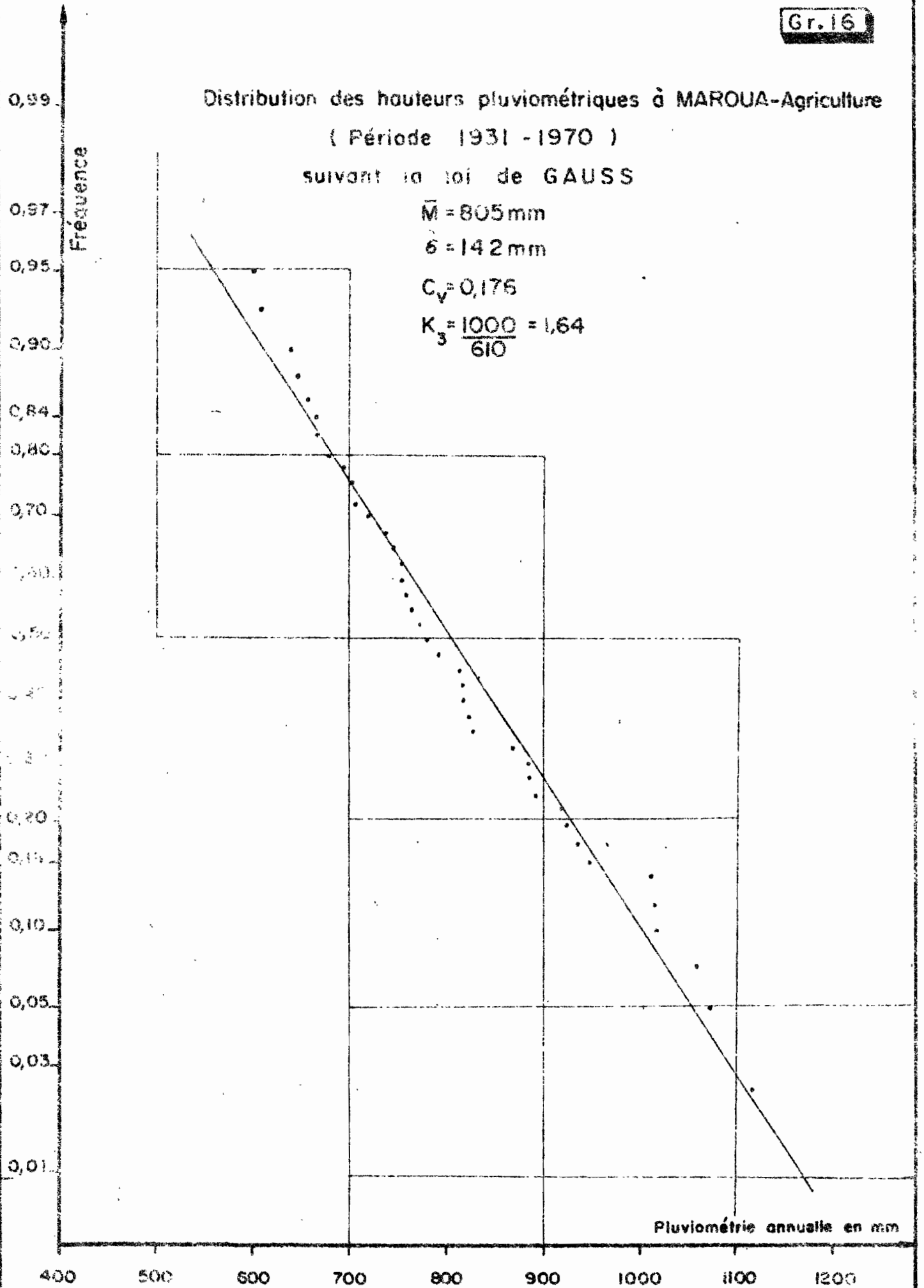
suivant la loi de GAUSS

$$\bar{M} = 805 \text{ mm}$$

$$\sigma = 142 \text{ mm}$$

$$C_v = 0,176$$

$$K_3 = \frac{1000}{610} = 1,64$$



Toutefois, les conditions orographiques font que la hauteur pluviométrique annuelle observée à MAROUA n'est pas tout à fait représentative de l'ensemble du bassin versant de la TSANAGA.

Le calcul des coefficients de corrélation définissant les liaisons existant entre les trois postes "Longue durée" de MAROUA, MOKOLO, GUETALE montre que les dépendances sont très lâches pour ne pas dire inexistantes :

MAROUA-GUETALE pour 23 années $K = 0,48$
MOKOLO-GUETALE pour 16 années $K = -0,44$
MAROUA-MOKOLO pour 21 années $K = 0,07$.

Il n'est donc pas possible d'améliorer, par la méthode d'homogénéisation du second degré, les échantillons de données brutes. Les comparaisons pourront donc être faites uniquement pour les années où les observations étaient effectuées simultanément aux diverses stations, ce qui présente certains inconvénients compte-tenu du fait que le poste de MOKOLO a été fermé en 1966.

Pour MAROUA et MOKOLO la période commune 1935-1966 (avec tout de même des lacunes) permet les comparaisons suivantes :

Station	Moyenne (mm)	Ecart-type (mm)	Coefficient de Variation
MAROUA (390 m)	775	129	0,166
MOKOLO (770 m)	970	177	0,183

Pour comparer MAROUA, MOKOLO et GUETALE nous ne disposons plus que de 16 années d'observations :

Station	Moyenne (mm)	Ecart-type (mm)	Coefficient de Variation
MAROUA (390 m)	804	97	0,121
GUETALE (500 m)	820	117	0,143
MOKOLO (770 m)	961	173	0,180

Pour GUETALE, sur la période 1948 - 1970 (23 années) les diverses caractéristiques sont les suivantes

moyenne annuelle : $\bar{P} = 838$ mm
écart-type : $\sigma = 139$ mm
coefficient de variation : $C_v = 0,166$
Médiane : $M = 878$ mm
hauteur pluviométrique décennale humide : 1020 mm
hauteur pluviométrique décennale sèche : 660 mm
Coefficient d'irrégularité : $K_3 = 1,55$
(voir graphique 17)

Pour la station de MAROUA-SALAK, située à 16 km au Sud de la station hydrométrique de la TSANAGA à MAROUA, sur la période 1953-1970 (18 ans) :

moyenne annuelle : $\bar{P} = 877$ mm
écart-type : $\sigma = 123$ mm
coefficient de variation : $C_v = 0,140$
médiane : $P = 850$ mm
hauteur pluviométrique décennale humide : 1040 mm
hauteur pluviométrique décennale sèche : 719 mm
coefficient d'irrégularité : $K_3 = 1,45$
(voir graphique 18)

Il est difficile, sinon impossible de tirer des conclusions sur les variations dans le temps de la pluviosité. Par contre les variations spatiales sont indéniables, MOKOLO étant plus arrosée que GUETALE ou MAROUA, les limites extrêmes paraissent être les suivantes, 800 mm/an pour les plus abritées à l'Est et 1.000mm/an pour les régions les plus arrosées à l'Ouest du bassin.

L'examen de la répartition des hauteurs pluviométriques annuelles aux stations avoisinantes et le tracé des isohyètes montrent bien l'existence d'un gradient pluviométrique positif lorsqu'on se déplace d'Est en Ouest en direction des Monts MANDARA.

Distribution des hauteurs pluviométriques annuelles
à GUETALE
(Période 1948-1970)

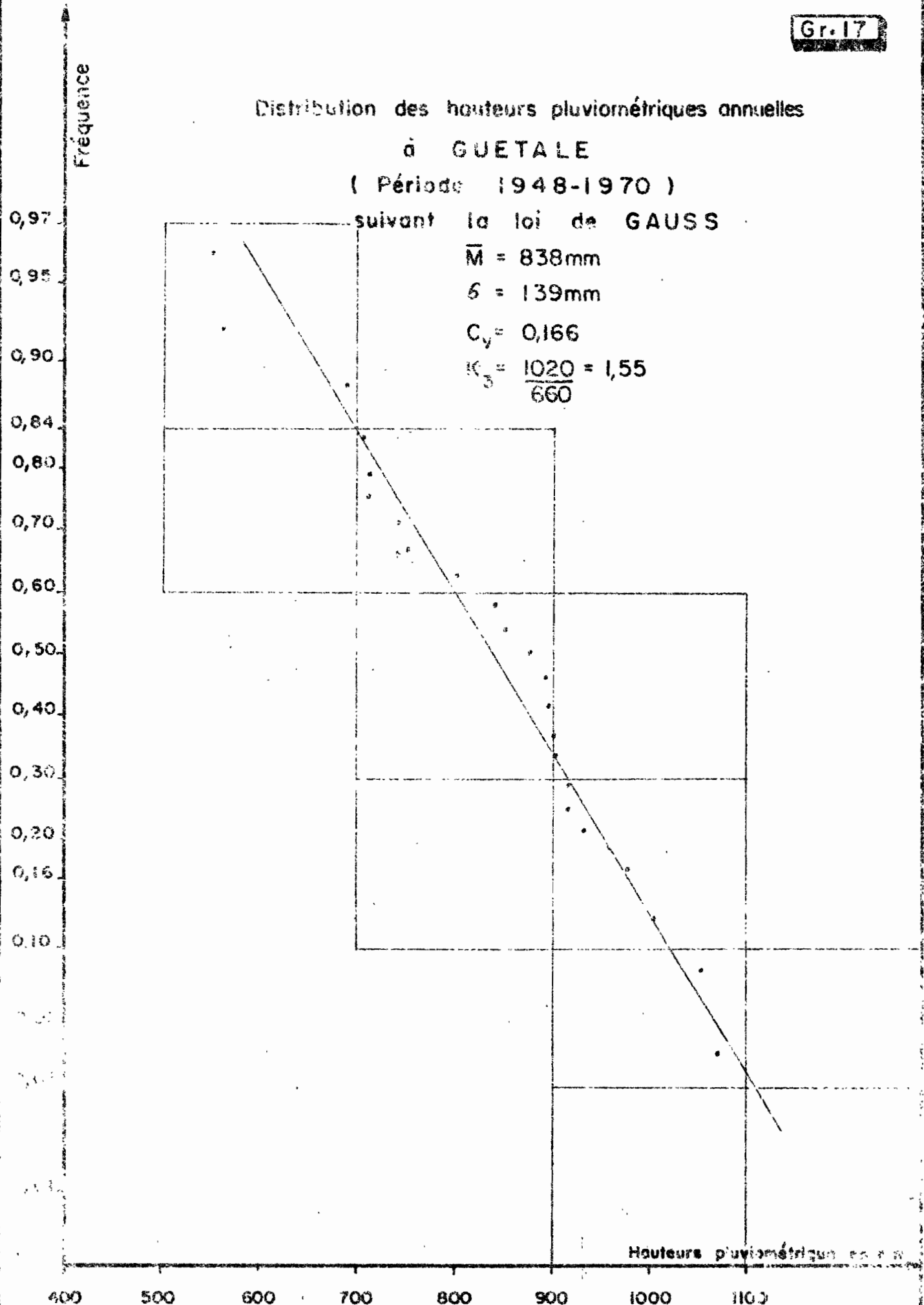
suivant la loi de GAUSS

$\bar{M} = 838\text{mm}$

$\sigma = 139\text{mm}$

$C_y = 0,166$

$K_3 = \frac{1020}{660} = 1,55$



Distribution des hauteurs pluviométriques annuelles à MAROUA - SALAK (Période 1953 - 1970)

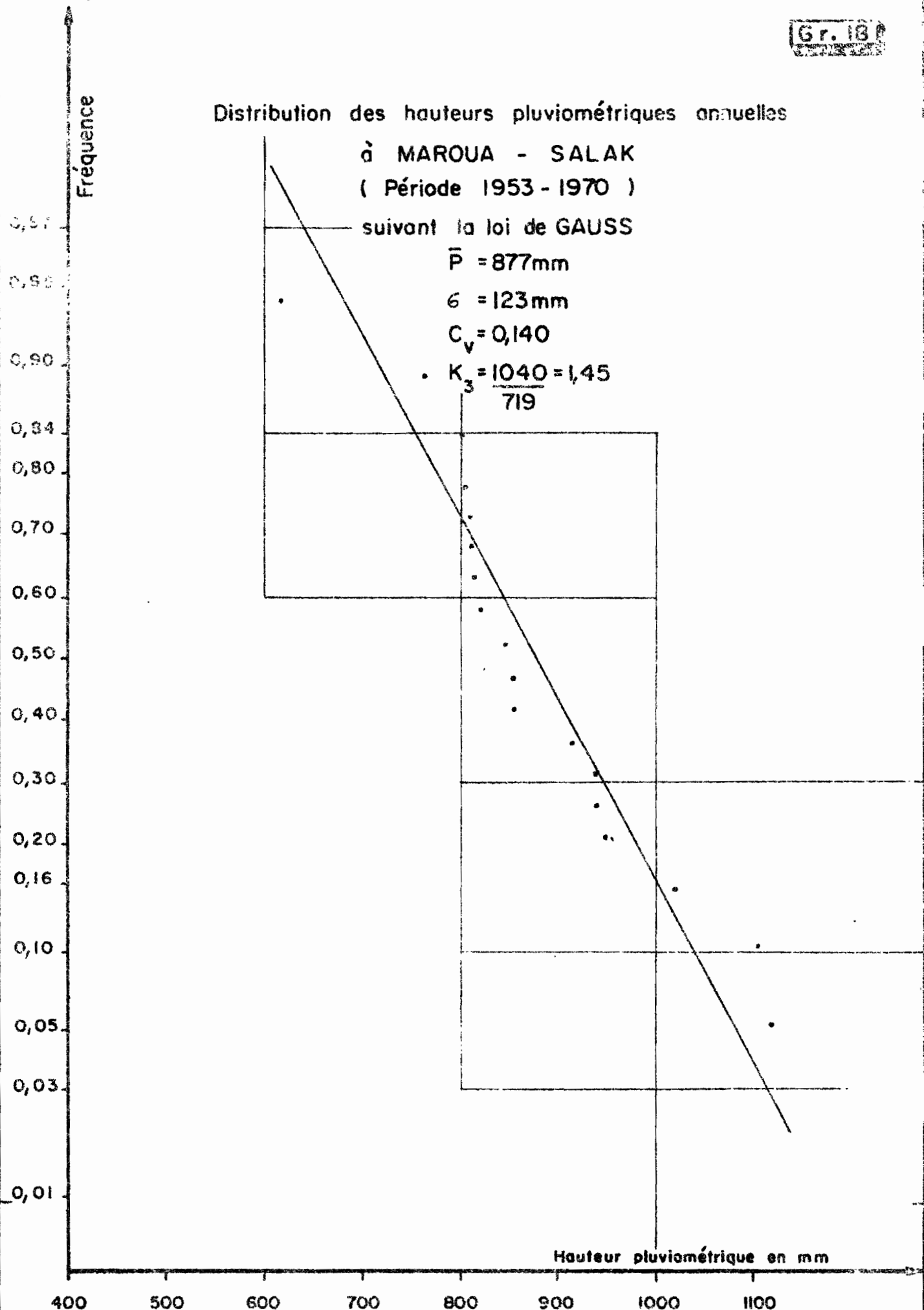
suivant la loi de GAUSS

$$\bar{P} = 877\text{mm}$$

$$\sigma = 123\text{mm}$$

$$C_v = 0,140$$

$$K_3 = \frac{1040}{719} = 1,45$$



Le graphique 19 donne une esquisse des isohyètes inter-annuelles (période 1948-1966) observées sur le bassin de la TSANAGA.

En première approximation nous pouvons admettre pour les différents bassins les hauteurs pluviométriques moyennes annuelles suivantes :

TSANAGA à BOGO	:	855 mm
TSANAGA à MAROUA	:	930 mm
KALLIAO à MAROUA	:	810 mm.

Etant donné les restrictions que nous avons faites sur les liaisons existant entre les différents postes pluviométriques, ces valeurs doivent être prises uniquement comme un ordre de grandeur.

1.2.8.2. Hauteurs de précipitations mensuelles.

Les répartitions spatiale et temporelle des pluies sont fonction, comme nous l'avons déjà précisé, de la position du Front Inter-Tropical (F.I.T.).

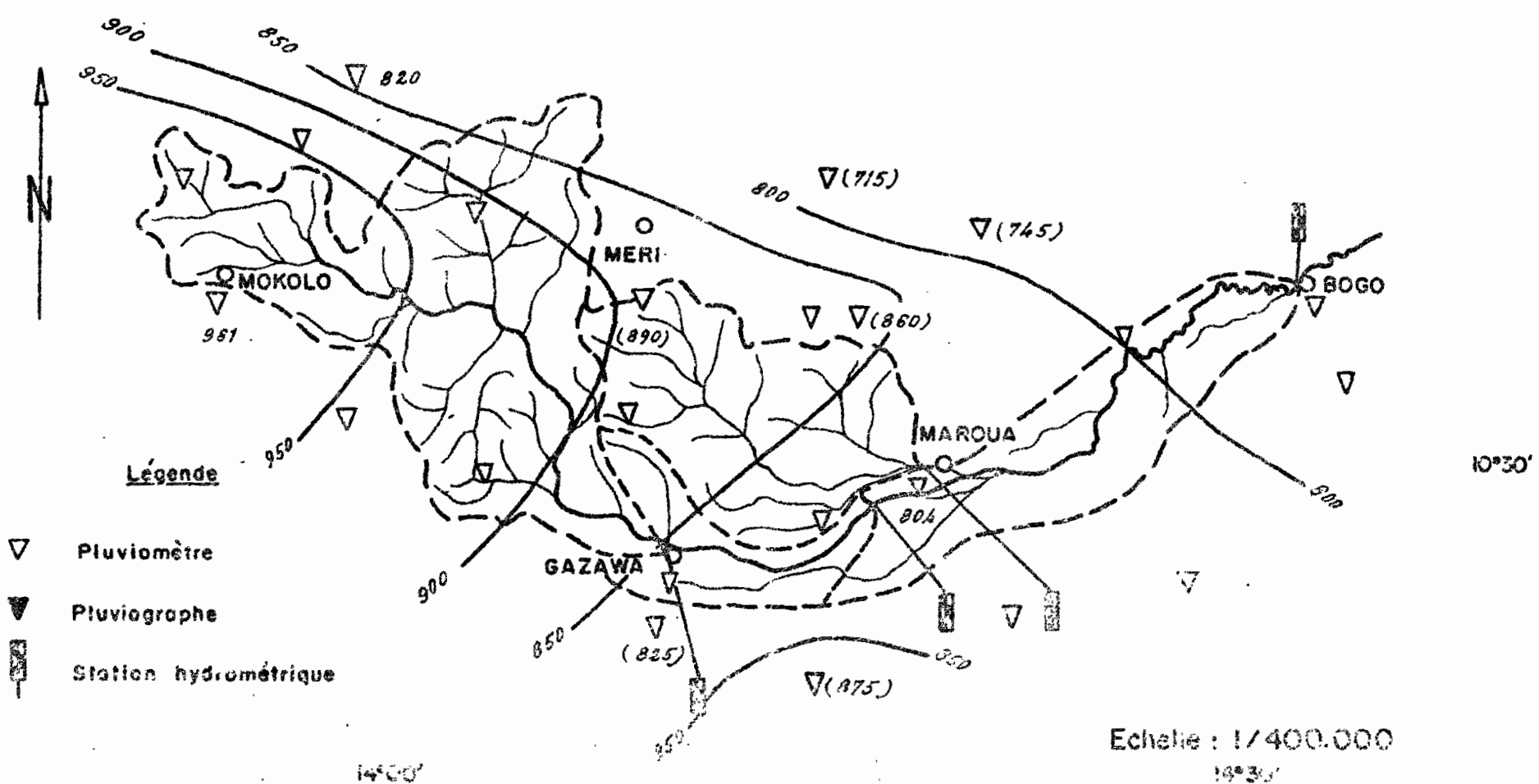
Les moyennes des hauteurs pluviométriques mensuelles et annuelles, à MAROUA (période 1931-1970) sont données dans le tableau, ci-après, et portées sur le graphique 20.

Le graphique 21 montre les valeurs des hauteurs de précipitations mensuelles qui ont 10, 25, 50, 75 et 90 chances sur cent d'être dépassées.

BASSIN VERSANT DU MAYO TSANAGA

Esquisse des isohyètes interannuelles

Période 1948 - 1966



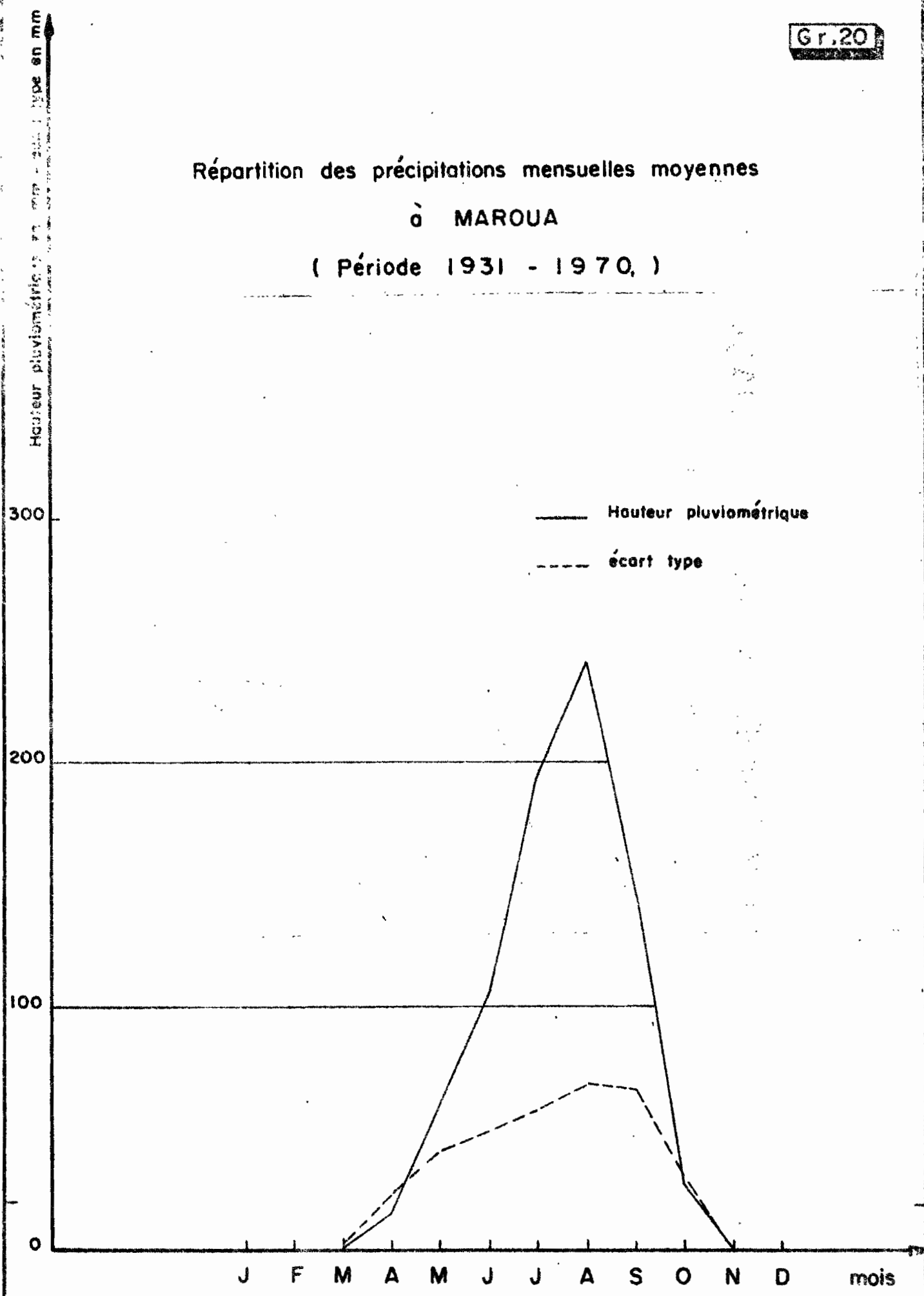
Légende

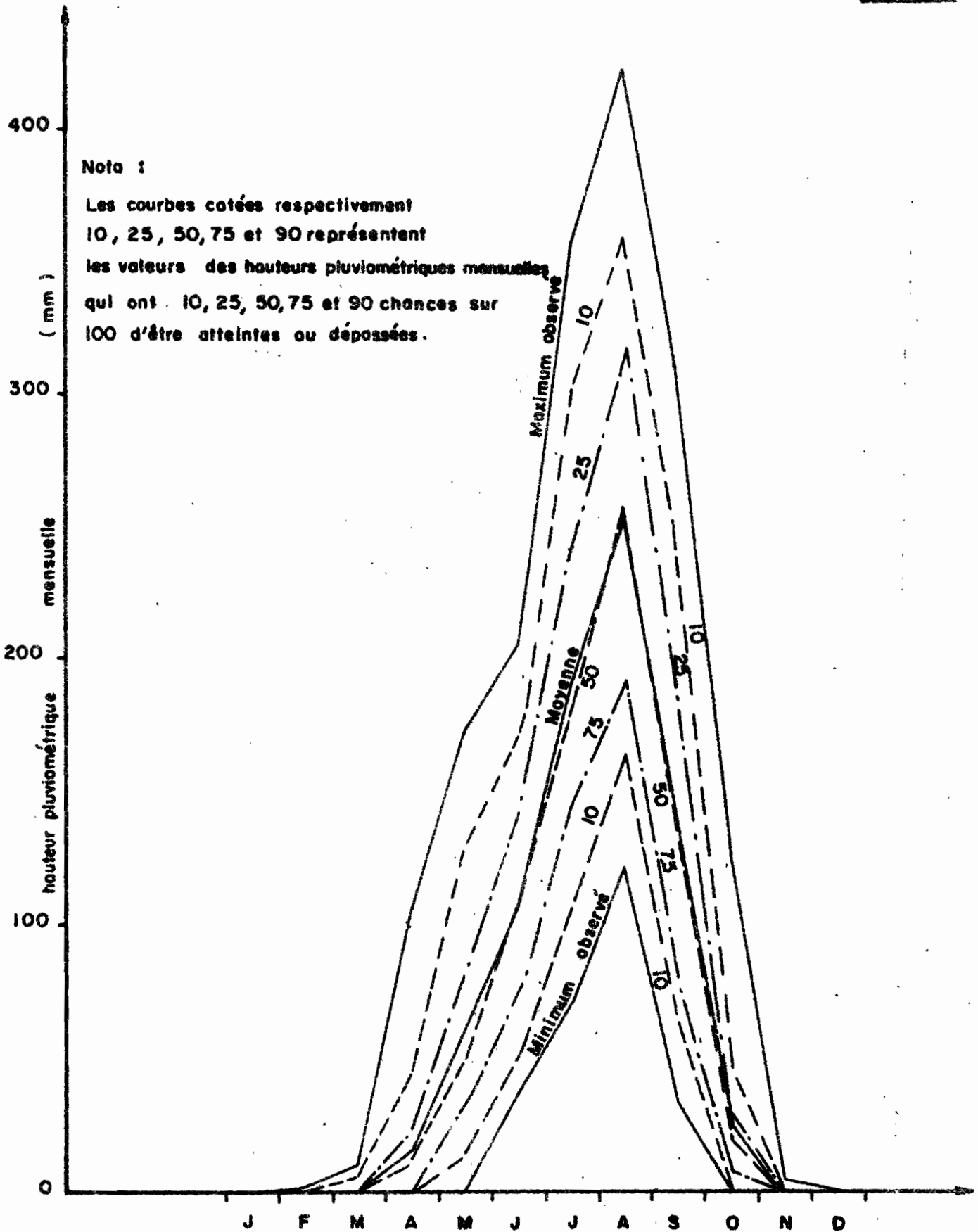
- ▽ Pluviomètre
- ▼ Pluviographe
- ▮ Station hydrométrique

Echelle : 1/400.000

date
des

Répartition des précipitations mensuelles moyennes à MAROUA (Période 1931 - 1970,)





Nota :
 Les courbes cotées respectivement 10, 25, 50, 75 et 90 représentent les valeurs des hauteurs pluviométriques mensuelles qui ont 10, 25, 50, 75 et 90 chances sur 100 d'être atteintes ou dépassées.

Pluviométrie mensuelle à MAROUA

(Période 1931-1966)

MAROUA - AGRICULTURE
1931 - 1970
(39 ans)

Année	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Total
1931	0	0	0	17	106	184	255	189	23	0	774
1932	0	0	22	-	110	354	410	157	7	0	(1119)
1933	0	4	10	172	180	145	324	229	8	0	(1072)
1934	0	0	48	152	82	156	196	-	39	0	(816)
1935	0	0	0	16	167	133	173	212	1	0	702
1936	0	2	41	51	78	267	366	239	16	0	1060
1937	0	0	0	27	97	238	177	141	12	0	692
1938	0	0	17	54	133	180	276	215	10	0	885
1939	0	0	20	96	91	220	176	74	41	0	718
1940	0	0	26	43	37	185	256	79	9	3	638
1941										0	
1942	0	0	11	72	44	71	247	36	125	0	606
1943	0	0	7	42	60	138	278	64	11	0	600
1944	0	1	2	11	85	96	188	130	35	0	548
1945	0	0	7	33	144	234	312	168	37	0	935
1946	0	0	2	30	81	169	421	282	32	0	1017
1947	0	0	1	31	102	166	262	92	11	0	665
1948	0	6	2	52	205	140	287	62	0	0	754
1949	0	0	16	120	50	117	266	73	2	0	644
1950	0	0	32	88	39	223	245	160	38	0	825
1951	0	1	0	116	53	124	301	306	116	0	1017
1952	0	0	6	67	101	131	320	186	18	0	827
1953	0	10	0	109	150	236	147	126	1	0	779
1954	0	4	7	137	72	148	277	72	30	0	747
1955	0	0	12	60	113	199	121	223	35	0	763
1956	2	6	3	20	122	336	293	68	19	0	869
1957	0	0	22	43	110	167	185	158	19	1	705
1958	0	0	26	44	139	181	257	129	35	4	815
1959	0	0	17	134	94	165	160	108	0	0	678
1960	0	0	23	32	113	262	239	71	17	0	757
1961	0	0	0	1	191	319	249	132	0	0	892
1962	0	8	2	29	163	269	351	169	20	0	1011
1963	0	0	5	65	109	276	318	71	40	0	884
1964	0	6	51	67	82	173	233	196	9	0	817
1965	0	0	16	39	156	173	262	54	36	0	736
1966	0	0	91	41	87	255	184	208	56	0	922
1967	0	0	13	16	36	165	295	121	9	0	655
1968	0	0	14	39	116	217	249	152	5	0	792
1969	0	0	6	42	167	181	244	196	89	0	925
1970	0	0	-	24	50	142	339	157	26	0	(753)
P	0	1	15	59	105	193	260	145	27	0	805
σ		3	23	41	48	58	68	66	30	0	142

aucune pluie en Janvier et Décembre

Les mois les plus pluvieux sont : Juillet, Août et Septembre.

La répartition est identique sur l'ensemble du bassin (graphique 22) puisque sur la période commune d'observations (1948-1966) nous trouvons pour MAROUA, GUETALE et MOKOLO :

Hauteurs pluviométriques moyennes mensuelles
en mm

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
MAROUA	0	0	3	17	64	119	211	243	128	19	0	0	804
GUETALE	0	0	1	17	89	129	177	230	150	27	0	0	820
MOKOLO	0	0	4	29	96	158	221	249	166	38	0	0	951

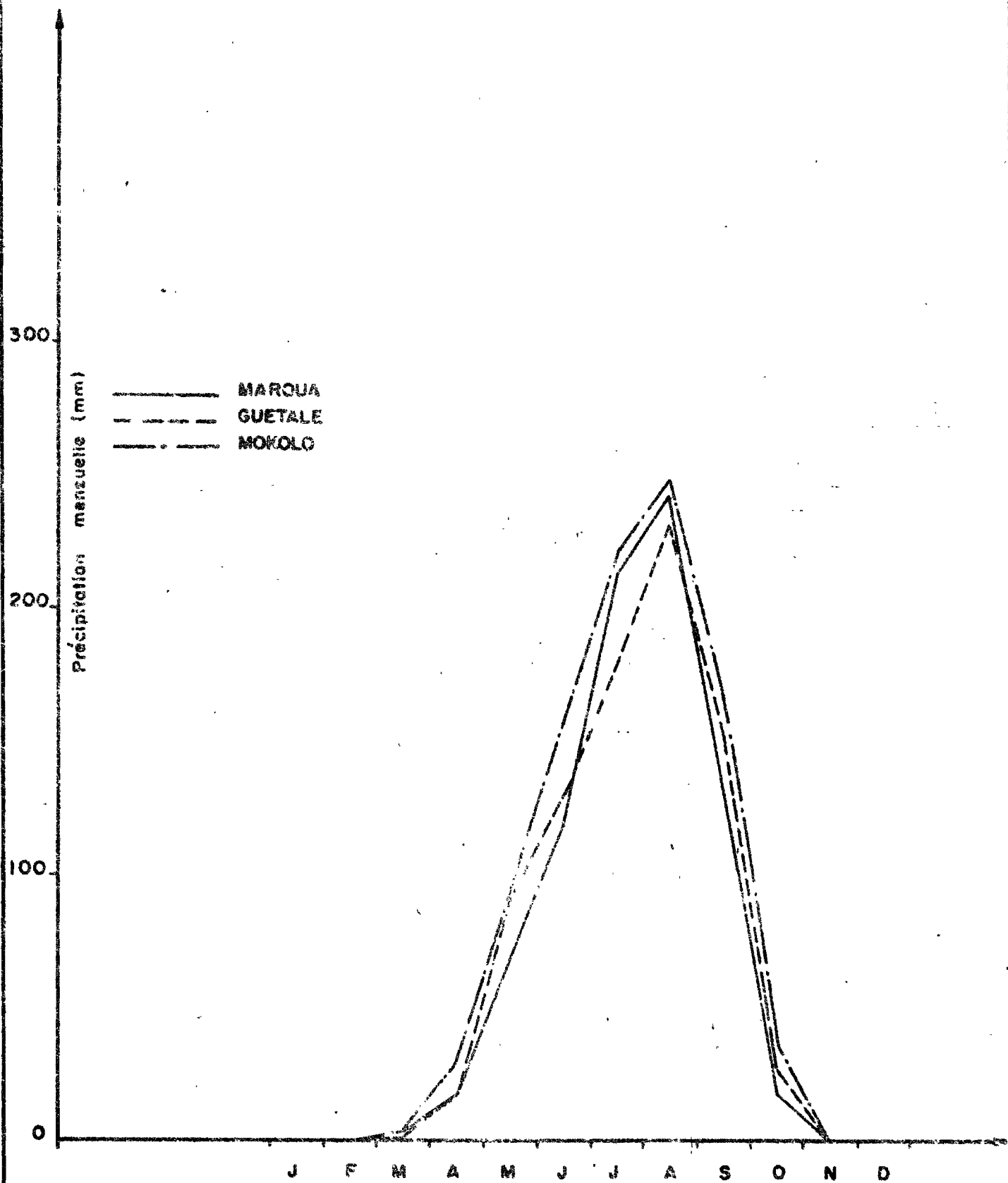
1.2.8.3. Précipitations journalières.

Les relevés pluviométriques étant effectués dans les stations ou les postes météorologiques 1 ou 2 fois par jour, l'étude des averses doit être assimilée à celle des précipitations journalières.

L'étude des averses journalières aux stations de MAROUA-Agriculture, GUETALE et MOKOLO suivant la loi de PEARSON III donne les valeurs suivantes :

Station	Averse journalière annuelle probable, égale ou dépassée			
	Annuelle	1 année sur 2	1 année sur 5	1 année sur 10
MAROUA	65	76	91	105
GUETALE	57	65	78	87
MOKOLO	60	70	84	93

La hauteur pluviométrique journalière de fréquence décennale a été trouvée égale à 105 mm pour la station de MAROUA-SALAK.



Répartition des précipitations mensuelles moyennes
à MAROUA-Agriculture, GUETALE et MOKOLO
(Période 1948-1949, 1952-1964 et 1966)

1.2.8.4. Intensité des précipitations journalières.

Ne disposant pas d'enregistrements pluviographiques sur une période suffisamment longue, il nous est difficile de donner des indications précises sur les intensités des averses. Toutefois, en nous référant à l'étude de Y. BRUNET - MORET intitulée "Complément à l'étude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale" nous avons calculé pour une averse de 105 mm (période de retour 10 ans) les intensités moyennes suivantes :

en 5 minutes	probablement	:	(140 mm/h)
en 20 minutes	"	:	(103 mm/h)
en 30 minutes	"	:	(86 mm/h)
en 45 minutes	"	:	(75 mm/h)
en 60 minutes	"	:	(67 mm/h).

Les intensités égales ou supérieures à 18 mm/h (pluie efficace) représenteraient 86 % de la hauteur totale, soit 90 mm (corps de l'averse).

Il s'agit là des intensités les plus probables pour une averse de 105 mm (hauteur décennale). Il est bien évident que les intensités en 5, 20, 30 ou 60 minutes, de fréquence décennale sont certainement supérieures à ces valeurs.

C H A P I T R E I I

EQUIPEMENT - MESURES - OBSERVATIONS HYDRO-PLUVIOMETRIQUES. . .

2.1. EQUIPEMENT

2.1.1. Les stations hydrométriques.

L'équipement hydrométrique comprenait les stations de GAZAWA, MAROUA et BOGO installées sur la TSANAGA et une deuxième station implantée à MAROUA sur le KALLIAO.

2.1.1.1. Station de GAZAWA.

Une première échelle limnimétrique avait été installée en 1954, 800m en aval du radier de la route GAZAWA-MERI. Les observations effectuées temporairement en 1954 et 1955 n'ont pu être utilisées étant donné le très petit nombre de mesures et l'absence de repère altimétrique.

En 1966, une échelle limnimétrique doublée d'un limni-graphe OTT type X, a été installée à l'aval immédiat du radier. Le zéro de l'échelle a été calé à 3,71m en dessous d'une borne hydro située en limite du lit mineur.

Les difficultés d'accès en saison des pluies, l'instabilité du lit nous ont contraints à abandonner cette station dès la première année d'étude.

2.1.1.2. Station de la TSANAGA à MAROUA.

Cette station qui contrôle un bassin de 845 km² a été implantée une première fois en 1954, 50 mètres en amont du pont routier de l'axe MAROUA-GAROUA. Des relevés ont été effectués en 1954 et 1955. L'échelle réinstallée à la même altitude le 21 Août 1956 a été emportée par une crue la même année.

A partir des 7 jaugeages effectués durant cette période, il nous a été possible de recalibrer ces anciennes échelles par

rapport à celles posées en 1966, sensiblement au même emplacement. L'échelle 1954 aurait son zéro calé à 34 cm au-dessus de celui de l'échelle 1966, lequel se situe à l'altitude 406, 872 m (1,71 m au-dessous de la borne-hydro). Un limnigraphe OTT type XX, à retournement, rotation 5 mm/h, réduction 1/10 complète l'équipement de cette station.

2.1.1.3. Station du KALLIAO à MAROUA.

Contrôlant un bassin de 355 km², cette station a été installée, également, une première fois en 1954, à l'aval immédiat du pont routier de FOUNANGUE. Les observations sont très fragmentaires et seuls les résultats de l'année 1955 ont pu être exploités. Nous avons estimé que le zéro de l'échelle devait se situer à 65 cm au-dessous du zéro de l'échelle implantée en 1966, en rive gauche à 1 km environ en amont du pont.

Cette échelle dont le zéro est calé à l'altitude 391, 752 (3,40 m sous la borne hydro) est doublée par un limnigraphe OTT type X, à retournement, rotation 12 mm/h, réduction 1/10.

2.1.1.4. Station de la TSANAGA à BOGO.

Cette station située à 42 km à l'aval du pont de FOUNANGUE contrôle un bassin de 1535 km². Quelques kilomètres à l'aval de BOGO le réseau hydrographique se dégrade sensiblement et la TSANAGA déverse ses eaux dans les vastes plaines de la cuvette tchadienne.

Comme pour les stations précédentes, une première échelle avait été installée en 1953, devant l'Ecole du Centre Rural, en rive droite du mayo. Cette échelle observée de 1953 à 1956 a été emportée par la crue du 18 Août 1956. Nous avons pu, tout de même, estimer que le zéro de cette échelle était 1,73 m plus bas que celui de l'échelle installée le 12 Juillet 1966 en rive droite et à 45 mètres environ en amont du radier de la route MAROUA-BOGO soit 500 m en aval de la précédente.

Un limnigraphe OTT type X, à retournement, rotation 12 mm/h, réduction 1/10, double cette échelle. Le zéro a été rattaché à une borne hydro située 2,22 mètres plus haut sur la berge. Son altitude est de 336, 780 mètres.

2.1.2. Le réseau pluviométrique.

En plus des postes permanents exploités par différents services (voir paragraphes 1 - 2 - 8) la Section d'Hydrologie de l'O R S T O M exploitait 22 postes pluviométriques ainsi répartis : (carte n° 23)

1	DJOULGOUF	:	totalisateur mensuel
2	MAMBANG	:	totalisateur mensuel
3	KALLIAO	:	totalisateur mensuel
4	GAZAWA	:	totalisateur mensuel
5	MOKORA	:	totalisateur annuel
6	MEFTEK	:	totalisateur mensuel
7	DOUVANGAR	:	journalier
8	MONKONG	:	journalier
9	FOGOM	:	totalisateur annuel
10	Col de MERI	:	totalisateur mensuel
11	ZAMAY	:	totalisateur mensuel
12	TCHOUVOUK	:	totalisateur annuel
13	MOFGUEL	:	totalisateur mensuel
14	MOKOLO (Mission catholique)	:	journalier
15	DJINGLIA	:	journalier
16	MAGOUMAZ	:	totalisateur mensuel
17	ROUA	:	journalier
18	MAGOUMAY	:	totalisateur mensuel
19	MOKOLO	:	totalisateur mensuel
22	TCHERE P 10	:	bassin du MOTORSOLO
23	TCHERE P 7	:	bassin du MOTORSOLO
24	TCHERE P 26	:	bassin du MOTORSOLO

Nous disposons donc de 40 postes pluviométriques, soit 1 poste pour 50 km² environ, compte tenu du fait que certains pluviomètres étaient situés en dehors du bassin.

14°00'

14°10'

14°20'

14°30'

Gr. 23

BASSIN DE LA TSANAGA
Réseau pluviométrique

10°50'

10°50'

10°40'

10°40'

10°30'

10°40'

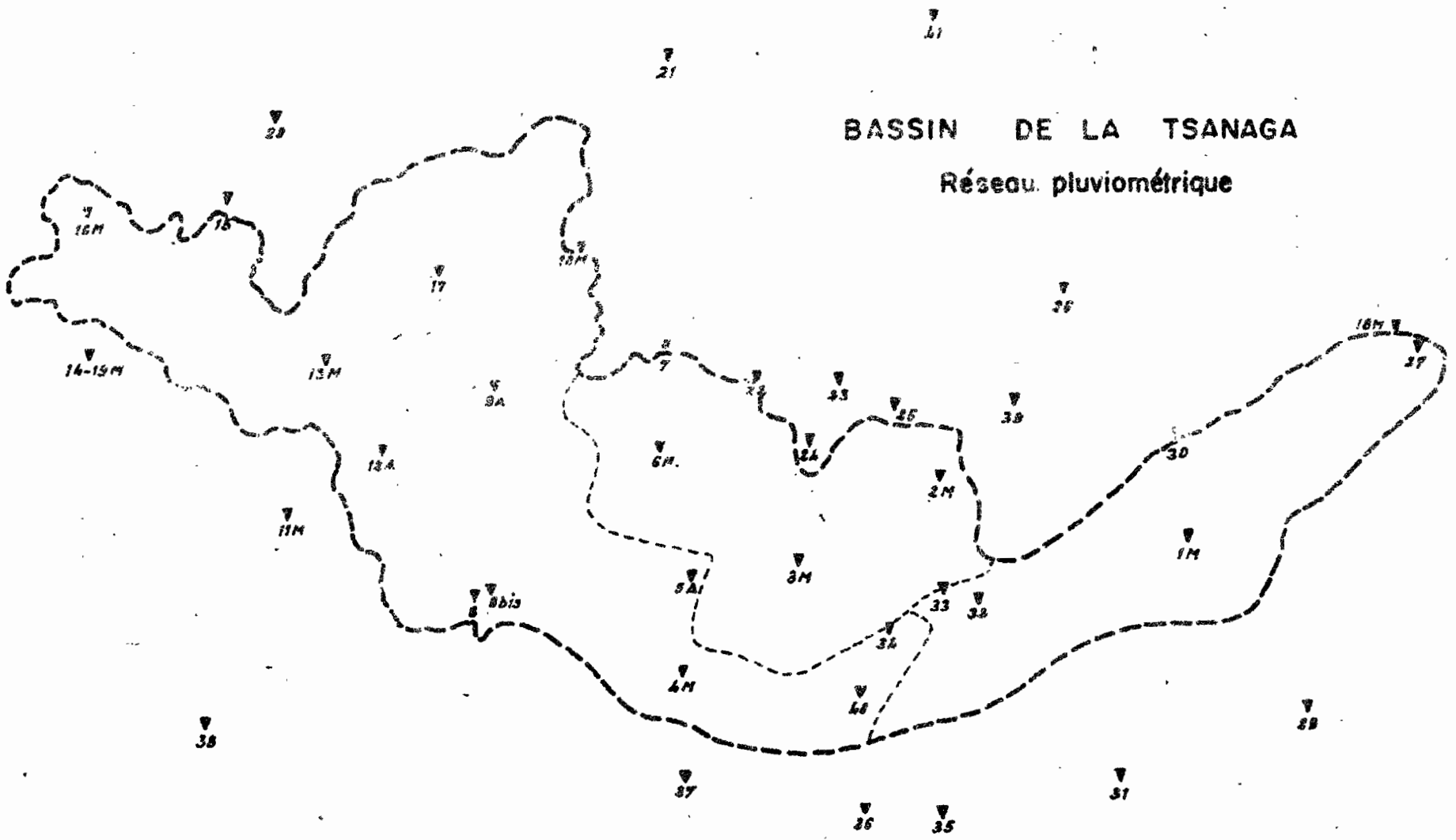
Echelle : 1/400.000

14°00'

14°10'

14°20'

14°30'



date
des.

2.2. ETALONNAGE DES STATIONS.

2.2.1. La TSANAGA à MAROUA.

L'étalonnage a été effectué à l'aide de 70 jaugeages dont les débits s'échelonnent entre 2 l/s et 165 m³/s, soit des hauteurs à l'échelle comprises entre 0,465 m et 1,50 m alors que la cote maximale observée a été de 1,73 m.

Nous pouvons noter (graphiques 24 et 25) que le tarage n'est pas stable en moyennes et basses eaux. Pour une cote voisine de 80cm les débits observés peuvent différer de 40 %.

Au-dessus de 1,20 m nous pouvons admettre une courbe de tarage unique.

TSANAGA à MAROUA

Liste des jaugeages

N°	Date	H cm	Q m ³ /s	N°	Date	H cm	Q m ³ /s
1	30-7-66	61	4,8	9	4-9-66	134	125
2	6-8-66	65	7,7	10	4-9-66	129	115
3	11-8-66	80	24,9	11	16-9-66	119	89,7
4	14-8-66	95	43,3	12	16-9-66	86	28,7
5	25-8-66	99	43,8	13	17-10-66	95	41,4
6	29-8-66	110	60,4	14	21-10-66	57	1,14
7	31-8-66	86	33,6	15	31-10-66	55	0,48
8	2-9-66	72	18,1	16		52	0,01
17	7-7-67	65	8,9	22	25-7-67	73	20,1
18	10-7-67	86	33,8	23	27-7-67	84	29,4
19	15-7-67	110	64,4	24	29-7-67	148	161
20	15-7-67	128	95,0	25	25-8-67	95	40,2
21	19-7-67	107	57,0				
26	18-7-68	68	11,6	34	12-10-68	56	1,42
27	24-7-68	78	23,1	35	14-10-68	53	0,829
28	12-8-68	97,5	41,5	36	16-10-68	52	0,588
29	17-8-68	91	32,2	37	18-10-68	51	0,412
30	22-8-68	150-144	165	38	21-10-68	49,5	0,143

Gr. 24

TSANAGA à MAROUA

Courbes de tarage

200

Débit en m³/s

150

100

50

100

150

- 1966
- 1967
- 1968
- 1969
- 1970

1966-67-68
1970
1969

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

--

TSANAGA à MAROUA

Courbes de tarage

(Basses eaux)

20

Debit en m³/s

10

5

50

60

70

H en cm

1966-67-68

1970

1969

- 1966
- 1967
- ◆ 1968
- 1969
- 1970

(suite)

N°	Date	H cm	m^3/s	N°	Date	H cm	m^3/s
31	22-8-68	140-138	137	39	22-10-68	48	0,044
32	22-8-68	125-123	102	40	24-10-68	46,5	0,002
33	10-10-68	58	1,93				
41	2-8-69	89-88	23,3	51	21-10-69	60,5	1,73
42	23-8-69	116-112	69	52	23-10-69	56,5	0,723
43	17-9-69	73	10,8	53	25-10-69	62	2,29
44	18-8-69	70	8,5	54	27-10-69	58	0,772
45	2-10-69	67	5,67	55	29-10-69	57	0,250
46	6-10-69	67	5,33	56	31-10-69	56	0,119
47	8-10-69	64,5	3,79	57	2-11-69	56	0,237
48	14-10-69	62	1,74	58	4-11-69	55	0,135
49	16-10-69	59,5	1,16	59	6-11-69	52,5	0,014
50	18-10-69	58,5	0,848	60	8-11-69	50	0,0075
61	19-9-70	112	63	67	19-10-70	53,5	0,439
62	20-9-70	115	77	68	21-10-70	53	0,190
63	20-9-70	100	48	69	24-10-70	52	0,051
64	7-10-70	61	2,41	70	28-10-70	48,5	0,009
65	10-10-70	59,5	1,59				
66	13-10-70	59	0,890				

2.2.2. Le KALLIAO à MAROUA.

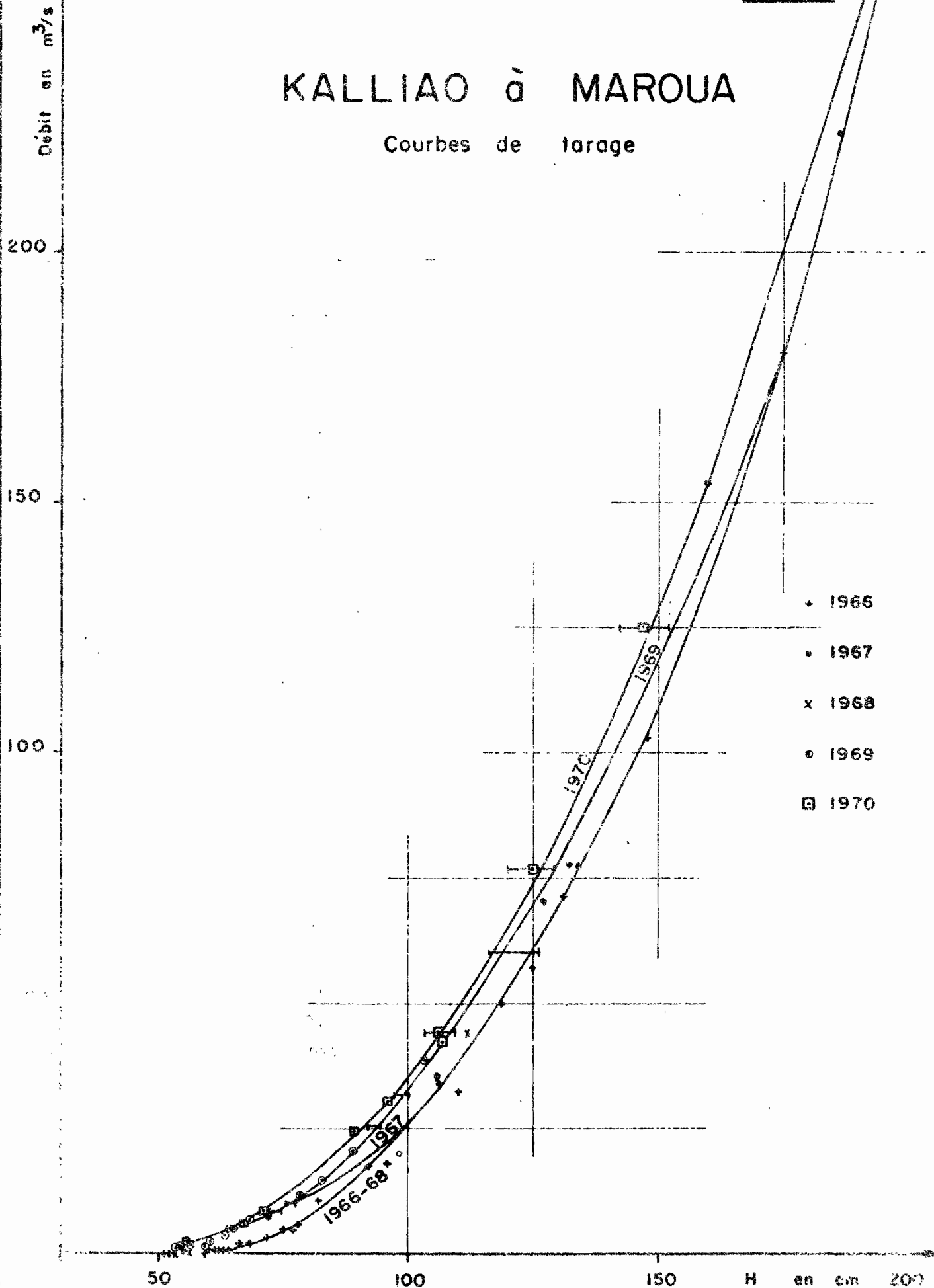
La station de MAROUA sur le KALLIAO est encore plus instable que celle de la TSANAGA (voir graphiques 26 et 27).

97 jaugeages se situant entre 6,6 l/s et 228 m³/s ont été nécessaires pour effectuer de façon satisfaisante les transformations hauteur-débit. Ils correspondent à des cotes comprises entre 0,29m et 1,90m alors que la cote maximale observée a été de 2,18m.

Gr.26

KALLIAO à MAROUA

Courbes de tarage



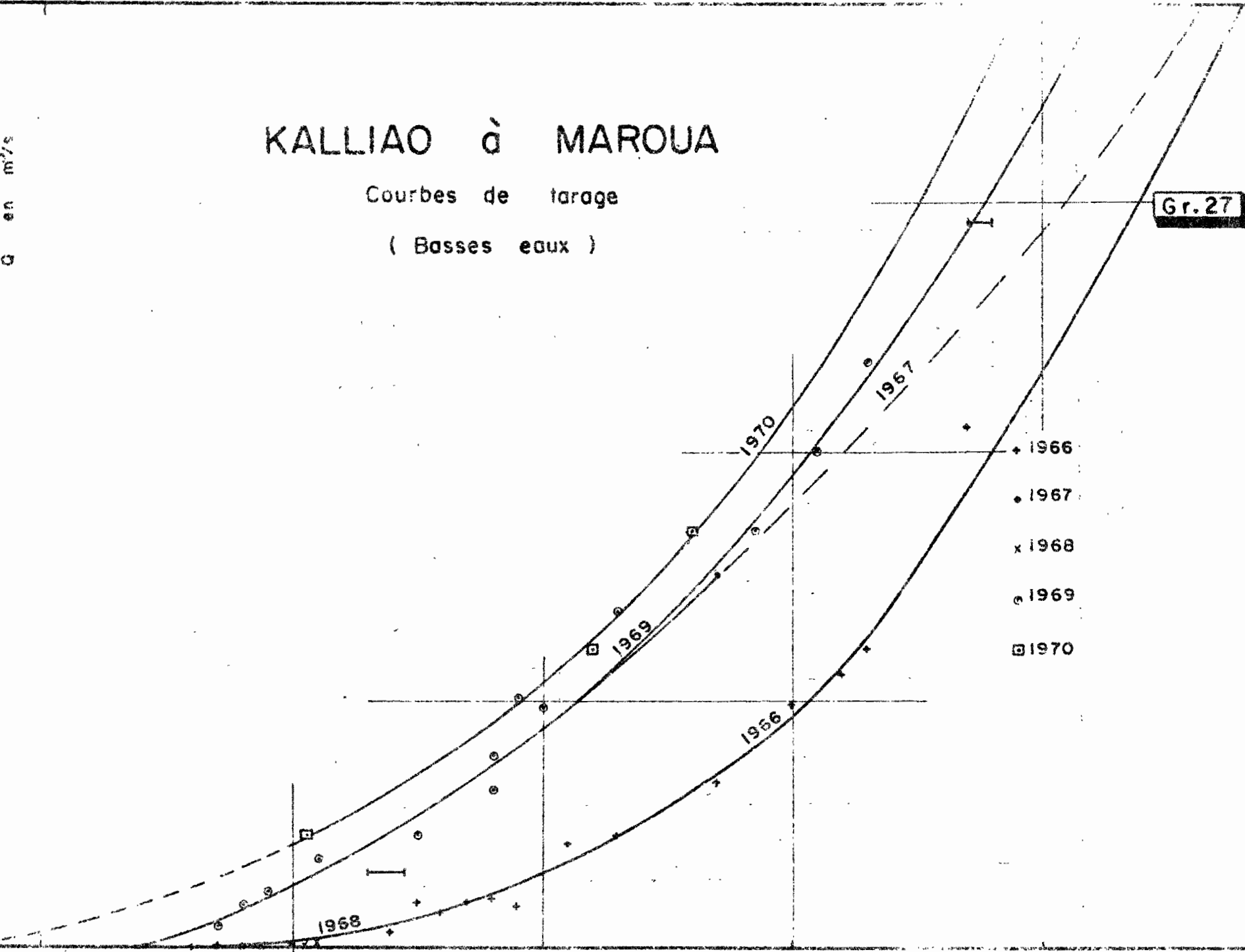
KALLIAO à MAROUA

Courbes de tarage
(Basses eaux)

Gr. 27

Q en m³/s
15,0
10,0
5,0
1,00
0

M en cm
0 50 60 70 80



KALLIAO à MAROUA

Liste des jaugeages

N°	Date	H cm	Q m ³ /s	N°	Date	H cm	Q m ³ /s
1	23-7-66	60	0,90	15	15-9-66	64	0,85
2	29-7-66	63	1,95	16	16-9-66	72	3,35
3	30-7-66	52	0,05	17	16-9-66	77	5,5
4	10-8-66	106	34,0	18	16-9-66	78	6,0
5	10-8-66	119	49,9	19	18-9-66	131	71,5
6	10-8-66	148	103	20	18-9-66	125	60,2
7	10-8-66	175	180	21	18-9-66	115	36,6
8	17-8-66	82	10,5	22	18-9-66	110	32,4
9	17-8-66	92	17,9	23	18-9-66	101	26,2
10	2-9-66	66	2,1	24	18-9-66	96	18,1
11	3-9-66	62	0,92	25	21-9-66	81	10,1
12	6-9-66	75	4,9	26	4-10-66	59	0,35
13	12-9-66	61	0,72	27	14-10-66	55	0,11
14	13-9-66	68	2,28	28	21-10-66	51	0,01
29	7-7-67	72	7,5	33	29-7-67	98	20,0
30	19-7-67	106	35,5	34	8-8-67	134	77,6
31	19-7-67	125	56,4	35	24-8-67	132	77,6
32	22-7-67	127	70,4	36	31-8-67	186	224
37	18-7-68	53	0,042	42	14-10-68	55,5	0,058
38	29-8-68	190-180	228	43	16-10-68	55,2	0,053
39	29-8-68	115-109	44	44	18-10-68	55	0,040
40	10-10-68	56	0,112	45	21-10-68	53,8	0,010
41	12-10-68	56	0,114				
46	14-7-69	59,5-58	1,52	64	19-9-69	90-88	20,5
47	19-7-69	63,5-62,5	3,18	65	19-9-69	83-82	14,6
48	21-7-69	60	2,29	66	2-10-69	52	0,550
49	22-7-69	64-63,5	5,04	67	5-10-69	53	0,475
50	25-7-69	79-77,5	11,8	68	7-10-69	52,2	0,380
51	25-7-69	74,5-72,5	8,4	69	9-10-69	51,8	0,263
52	25-7-69	69-67,5	6,80	70	14-10-69	53,2	0,132
53	25-7-69	65,5-64	4,85	71	16-10-69	52,2	0,072

(suite)

N°	Date	H cm	m^3/s	N°	Date	H cm	m^3/s
54	25-7-69	63,5-62,5	3,88	72	18-10-69	52	0,048
55	26-7-69	77-75,5	10,0	73	21-10-69	53	0,137
56	28-7-69	52	0,460	74	23-10-69	52,2	0,087
57	3-8-69	94,5-92	25,8	75	25-10-69	52	0,074
58	6-8-69	126-116	60	76	27-10-69	49,9	0,056
59	6-8-69	105-101	38,6	77	29-10-69	49	0,035
60	16-9-69	56	1,80	78	2-11-69	49,2	0,060
61	17-9-69	54	1,11	79	4-11-69	48	0,023
62	18-9-69	53,5-53	0,810	80	6-11-69	44,5	0,018
63	19-9-69	100-97	31,5	81	8-11-69	29	0,0066
82	4-8-70	152-142	125	91	7-10-70	51,5	0,204
83	4-8-70	129-120	77	92	10-10-70	50	0,102
84	4-8-70	110-103	42	93	13-10-70	51	0,062
85	4-8-70	55,5	2,3	94	19-10-70	49,5	0,049
86	18-9-70	109-103	44,5	95	21-10-70	49,3	0,040
87	18-9-70	98-94	30,3	96	23-10-70	49	0,036
88	18-9-70	90-88	24,6	97	28-10-70	48	0,028
89	19-9-70	67	6,0				
90	22-9-70	71	8,4				

2.2.3. La TSANAGA à BOGO.

La relative stabilité de la station de BOGO, peut s'expliquer par la présence, à quelques dizaines de mètres à l'aval, d'un radier en ciment. Toutefois, nous pensons qu'il serait prématuré de conclure qu'un détamage est improbable, surtout en ce qui concerne les basses eaux.

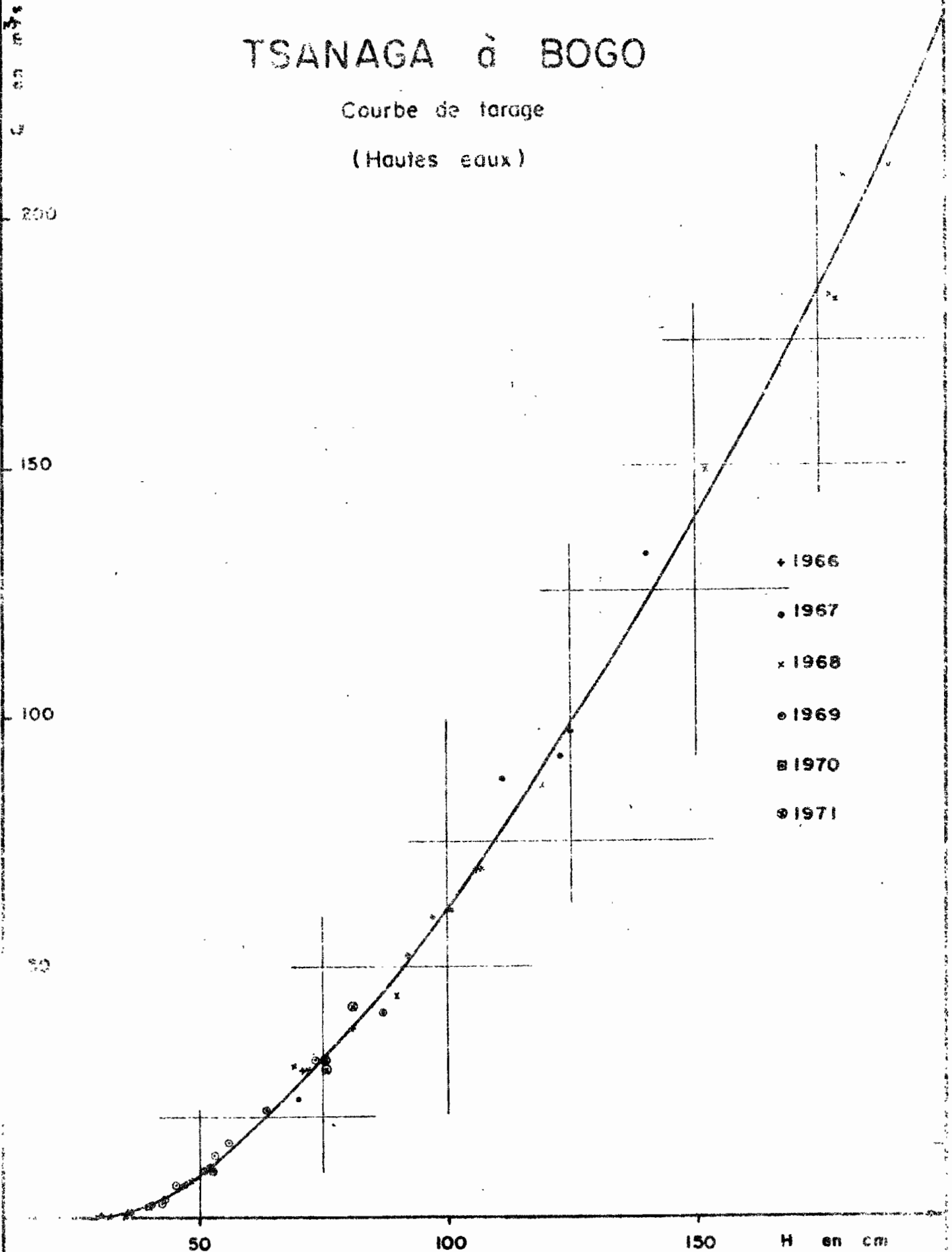
64 jaugeages ont été effectués entre 1966 et 1971 pour des débits se situant entre 3,5 l/s et 210 m^3/s , soit des cotes comprises entre 0,265 m et 1,91-1,87 m, alors que la plus forte hauteur observée a été de 2,06 mètres.

(graphiques 28 et 29)

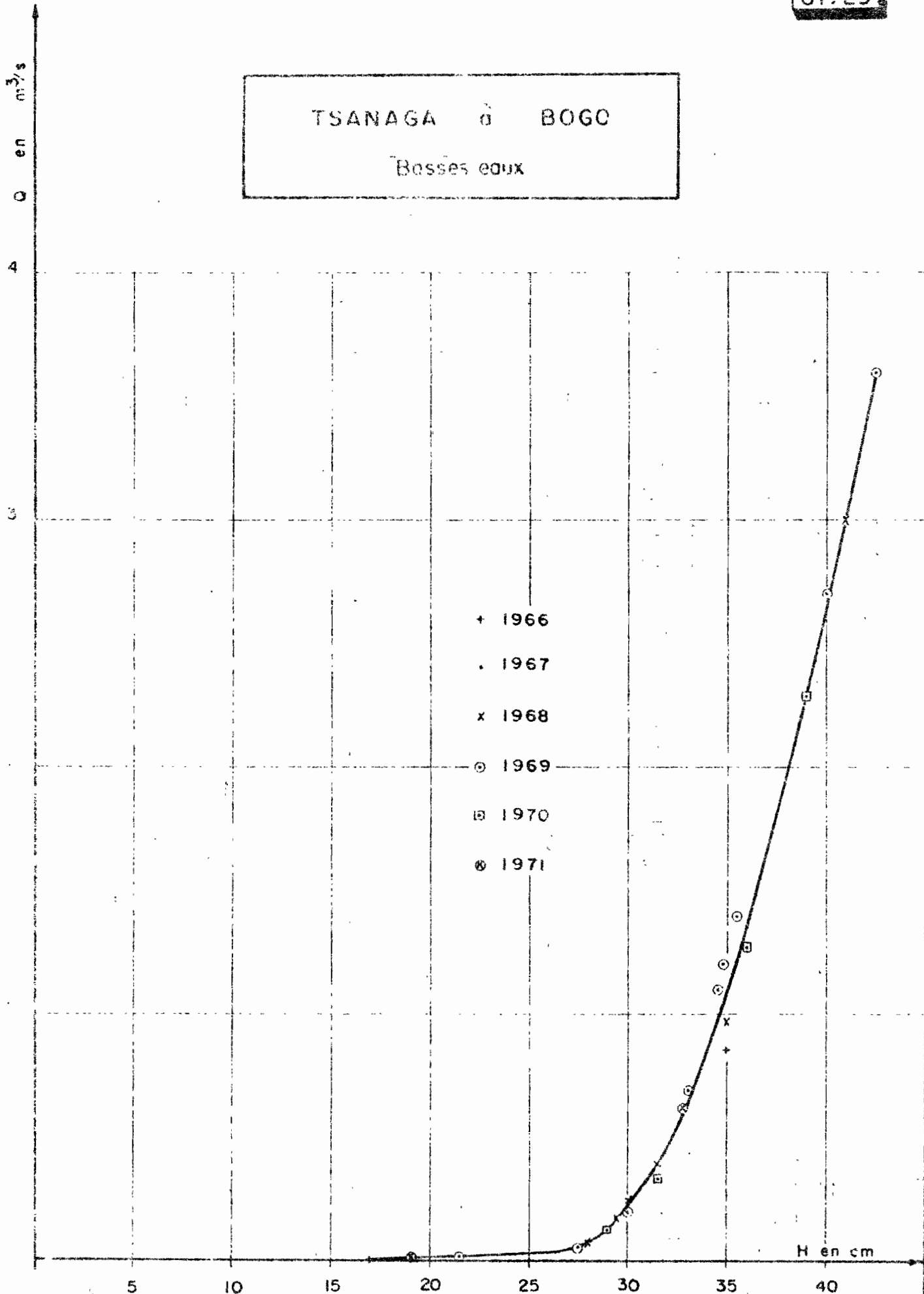
TSANAGA à BOGO

Courbe de tarage

(Hautes eaux)



TSANAGA à BOGO
Basses eaux



TSANAGA à BOGO

Liste des jaugeages

N°	Date	H cm	Q m ³ /s	N°	Date	H cm	Q m ³ /s
1	16-8-66	71	29,4	5	4-10-66	47	6,5
2	25-8-66	106	69,3	6	17-10-66	35	0,85
3	29-8-66	81	37,3	7	22-10-66	30	0,42
4	4-9-66	52	10,0	8	28-10-66	17	0,004
9	19-7-67	125-124	92,0	14	9-8-67	99-102	61,2
10	19-7-67	144-136	132	15	9-8-67	94-91	52,2
11	23-7-67	127-123	97,0	16	25-8-67	110-112	87,6
12	27-7-67	65-75	23,4	17	30-8-67	180	208
13	29-7-67	88-104	60,0				
18	20-7-68	150-154	149	28	26-8-68	191-187	210
19	26-7-68	120-118	86	29	29-8-68	179-175	184
20	8-8-68	48	7,0	30	4-10-68	41	2,99
21	10-8-68	46	6,1	31	13-10-68	35	0,786
22	15-8-68	70-73	29,4	32	15-10-68	31,5	0,390
23	16-8-68	88-92	54	33	18-10-68	29,5	0,170
24	16-8-68	66-72	30,3	34	21-10-68	28	0,060
25	17-8-68	81	42	35	22-10-68	30	0,248
26	20-8-68	109-105	70	36	24-10-68	19	0,0082
27	24-8-68	179-178	180				
37	19-8-69	63,5	21,2	47	16-10-69	35,5	1,40
38	23-8-69	52,5-58	14,8	48	18-10-69	33	0,690
39	8-9-69	87,5-86,5	40,3	49	21-10-69	34,5	1,10
40	15-9-69	73	31,4	50	25-10-69	40	2,7
41	18-9-69	53	12,2	51	27-10-69	35	1,16
42	25-9-69	51	9,3	52	29-10-69	30	0,200
43	30-9-69	52	9,9	53	31-10-69	27,5	0,046
44	6-10-69	45	6,5	54	2-11-69	21,5	0,0062
45	8-10-69	42	3,6	55	5-11-69	19	0,0037
46	14-10-69	40	2,5				
56	8-10-70	39,5	2,29	59	21-10-70	29	0,125
57	11-10-70	36	1,27	60	24-10-70	26,5	0,0035
58	19-10-70	31,5	0,333				
61	3-8-71	52,5	9,0	63	6-9-71	75,5	31,6
62	21-8-71	76	29,8	64	13-10-71	33	0,62

2.3. LES OBSERVATIONS HYDRO-PLUVIOMETRIQUES.

2.3.1. Les observations pluviométriques.

2.3.1.1. Hauteurs pluviométriques annuelles.

Afin de situer les hauteurs pluviométriques annuelles des cinq années d'étude par rapport à la moyenne inter-annuelle, nous avons regroupé dans le tableau ci-dessous, la pluviométrie moyenne observée sur une longue période à huit postes situés sur le bassin de la TSANAGA ou à proximité et les hauteurs pluviométriques des différentes années d'observations.

Station	Période d'observations	Pluviométrie inter-annuelle en mm	1966 en mm	1967 en mm	1968 en mm	1969 en mm	1970 en mm
MAROUA-Agriculture	39 ans	805	922	655	792	925	(753)
MAROUA-SALAK	18 ans	877	813	846	762	939	856
MOKOLO	22 ans	970	1051	fermé	fermé	fermé	fermé
GUETALE	23 ans	838	804	753	1055	853	953
DOUVANGAR	9 ans	902	801	867	1004	964	993
GODOLA	11 ans	885	912	781	906	824	895
PAPATA	8 ans	744	788	596	854	(653)	849
ZONGOYA	11 ans	827	651	725	909	(906)	803

Le calcul des hauteurs pluviométriques annuelles, par la méthode des isohyètes (graphiques 30 à 34) observées sur les différents bassins a donné les résultats suivants :

A N N E E	TSANAGA	KALLIAO	TSANAGA à BOGO
Moyenne interannuelle estimée	930	810	855
1966	856	793	828
1967	957	735	836
1968	885	840	823
1969	1075	960	984
1970	865	720	790

14°00'

14°30'

Gr. 30

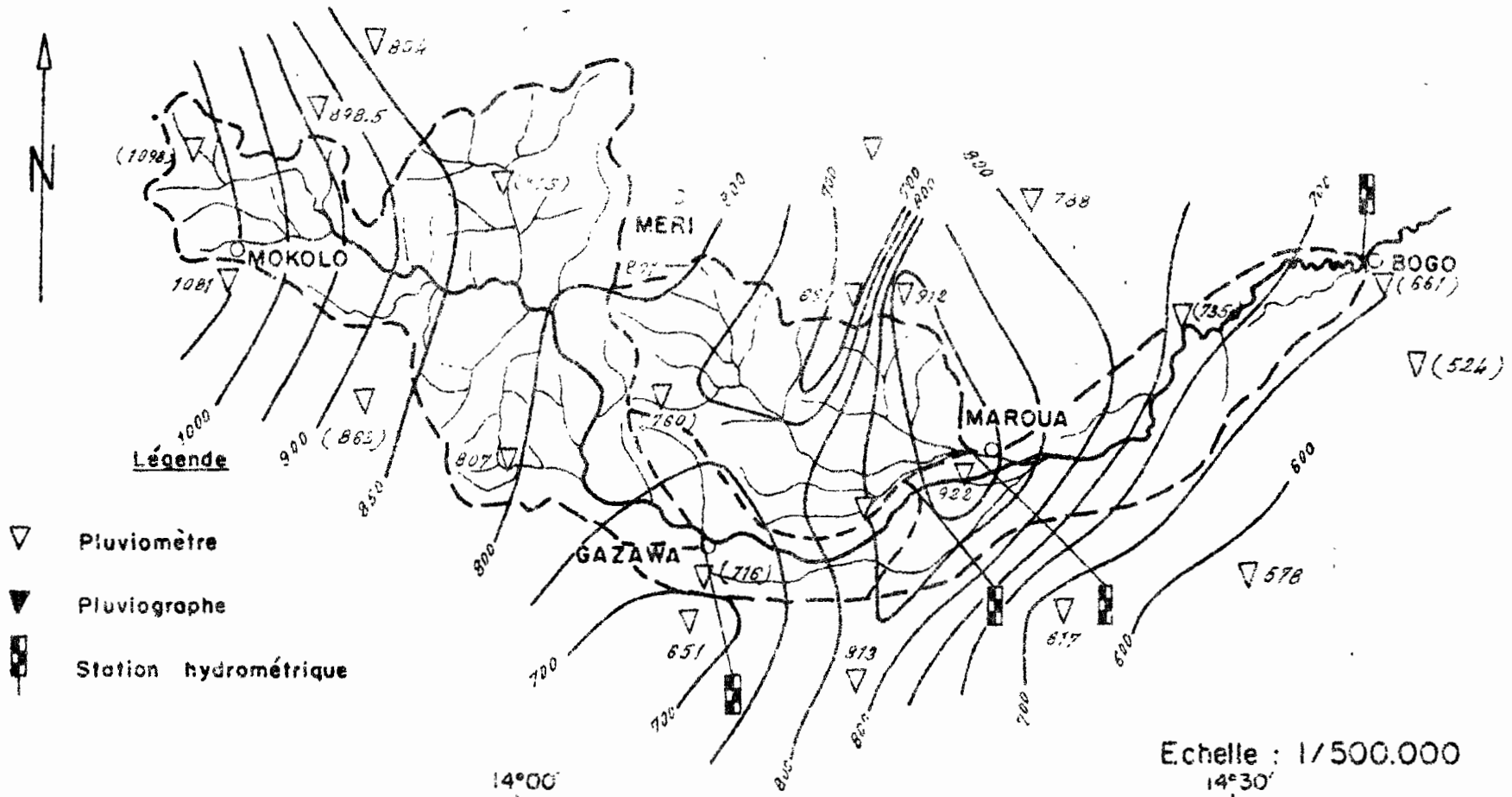
BASSIN VERSANT DU MAYO TSANAGA

Isohyètes annuelles

Année 1966

11°00'

11°00'



10°30'

10°30'

14°00'

14°30'

Echelle : 1/500.000

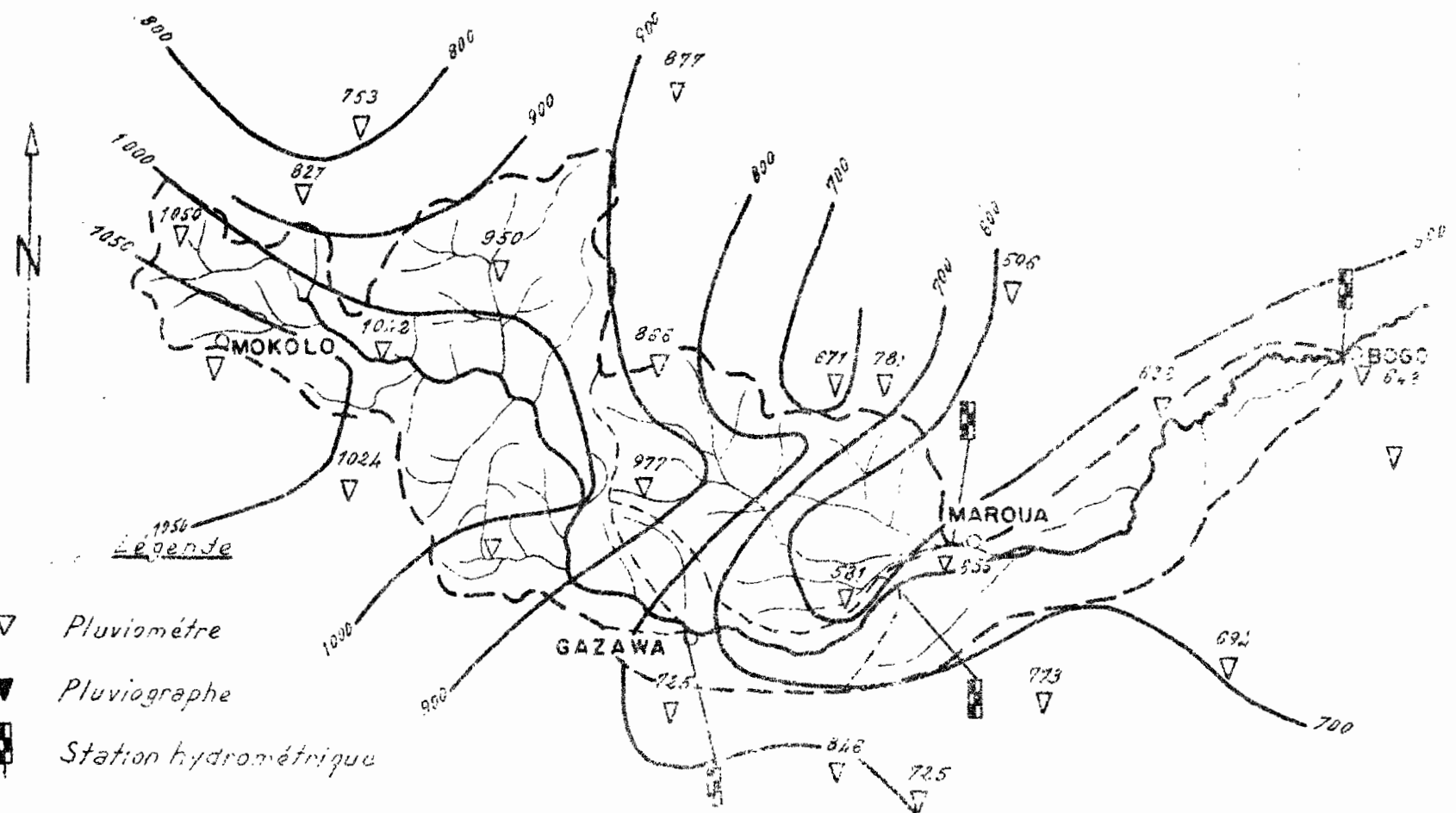
date des.

BASSIN VERSANT DE LA TSANAGA

Isonyètes annuelles 1967

11°00'

11°00'



date
des.

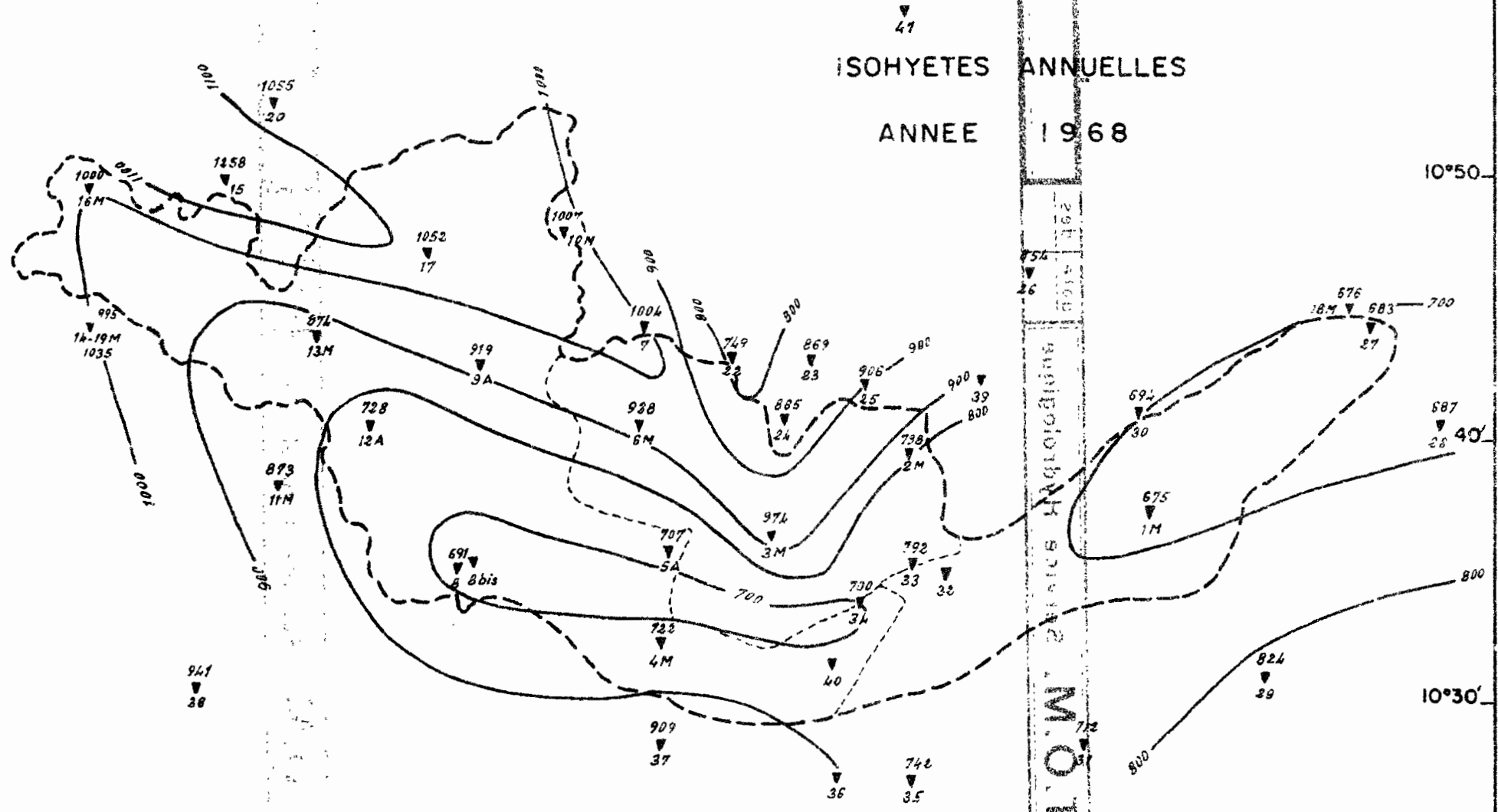
- ▽ Pluviomètre
- ▼ Pluviographe
- ▧ Station hydrométrique

10°30'

10°30'

Echelle : 1 / 500 000
14°30'

ISOHYETES ANNUELLES
ANNEE 1968



Echelle : 1/400 000

M.O.T.S.P.O.

10°50'

10°40'

10°30'

14°20'

14°30'

14°00'

14°10'

14°20'

14°30'

10°50'

10°40'

10°30'

Nous pouvons noter qu'abstraction faite de certaines anomalies, la répartition spatiale des hauteurs pluviométriques annuelles garde sensiblement la même physionomie, le gradient pluviométrique positif restant orienté E-W sur les trois quarts Ouest du bassin et tendent à d'infléchir vers le Sud lorsqu'on se déplace vers l'Est

Cette répartition explique les variations systématiques observées sur les différents bassins. Celui du KALLIAO étant moins arrosé que celui de la TSANAGA qui draine la partie Est des monts MANDARA.

Parmi les cinq années d'observations seule 1969 a eu une hauteur pluviométrique sensiblement supérieure à la moyenne :

- + 16 % pour la TSANAGA à MAROUA
- + 18 % pour le KALLIAO à MAROUA
- + 15 % pour la TSANAGA à BOGO

Les années les moins pluvieuses présentent les déficits suivants :

- 8 % en 1966 (avec 1970 peu différente) pour la TSANAGA à MAROUA
- 11 % en 1970 (avec 1967 peu différente) pour le KALLIAO à MAROUA
- 8 % en 1970 pour la TSANAGA à BOGO.

Bien que les liaisons de corrélation entre les différents postes pluviométriques soient très lâches, il semble que les valeurs extrêmes des hauteurs pluviométriques moyennes annuelles suivent sur les différents bassins des variations dans le temps assez semblables, avec toutefois des écarts un peu plus marqués sur le bassin du KALLIAO.

2.3.1.2. Hauteurs pluviométriques mensuelles.

La forme générale des hyétogrammes mensuelles (graphiques 35 à 37) reste assez stable d'une année à l'autre, avec une augmentation des hauteurs pluviométriques d'Avril à Août et une décroissance rapide d'Août à Octobre.

Seule l'année 1967 a eu une répartition mensuelle des hauteurs pluviométriques, anormale, avec un déficit très sensible en début de saison des pluies (Avril, Mai et Juin) un fort excédent en saison des pluies (Juillet-Août) et un léger déficit en fin de saison des pluies (Septembre-Octobre), le total annuel restant proche de la moyenne.

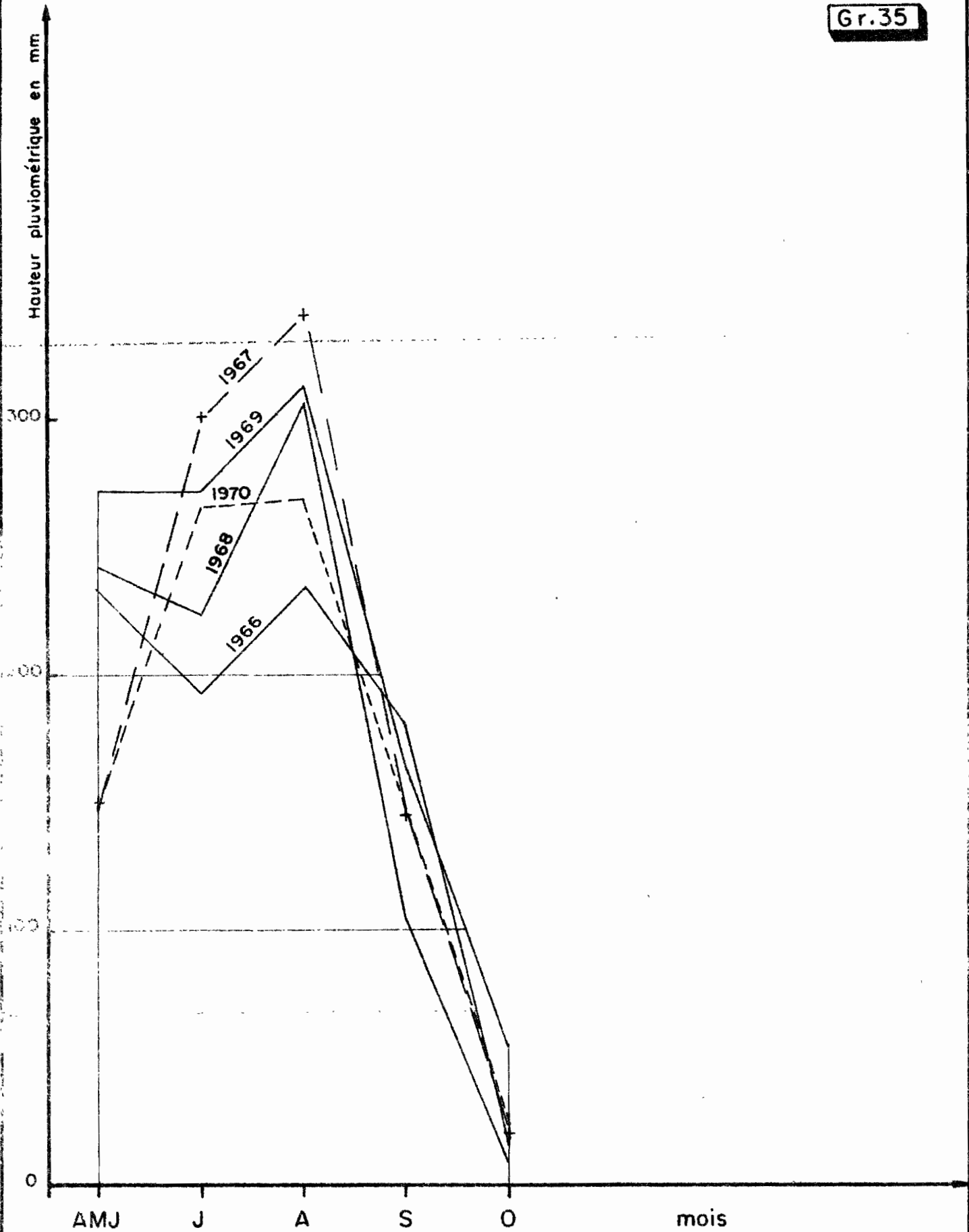
Les tableaux ci-après , donnent les hauteurs pluviométriques moyennes mensuelles observées sur les différents bassins de 1966 à 1970.

(Toutes ces hauteurs ont été calculées par la méthode des isohyètes).

Nous avons regroupé dans les tableaux I à V les hauteurs pluviométriques mensuelles observées aux différents postes situés sur le bassin ou à proximité de 1966 à 1970.

2.3.1.3. Hauteurs pluviométriques journalières.

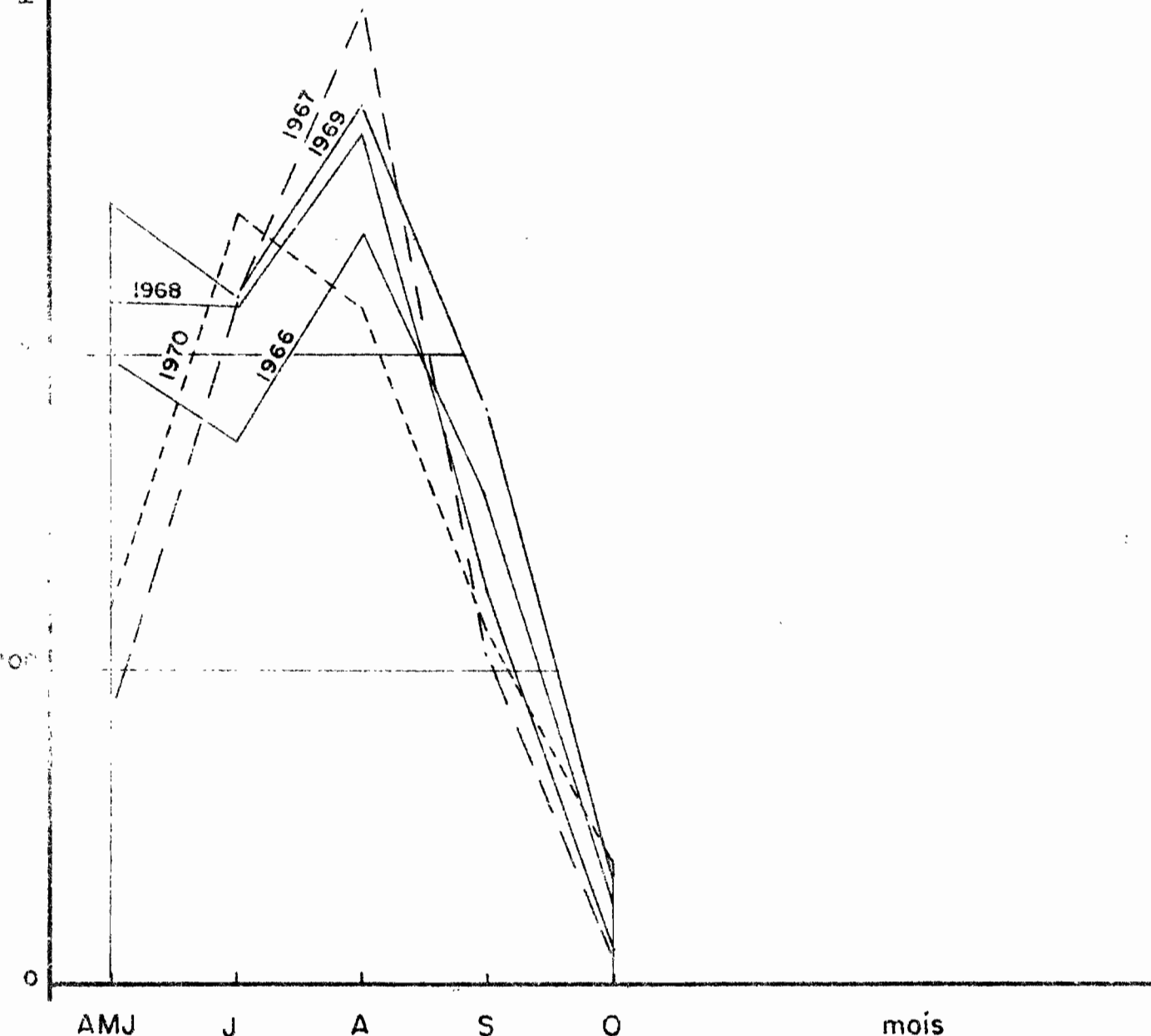
Dès l'établissement du programme d'étude il est apparu que compte tenu de la superficie et de l'orographie du bassin, du manque de voies de communications en saison des pluies, il n'était pas possible d'envisager la mise au point d'un modèle hydro-pluviométrique à l'échelle de l'averse. Le coût d'une telle étude aurait été hors de proportion avec le but recherché. Ainsi, seuls une vingtaine de pluviomètres, dont six seulement contrôlés par l'ORSTOM, étaient relevés quotidiennement.



TSANAGA à MAROUA

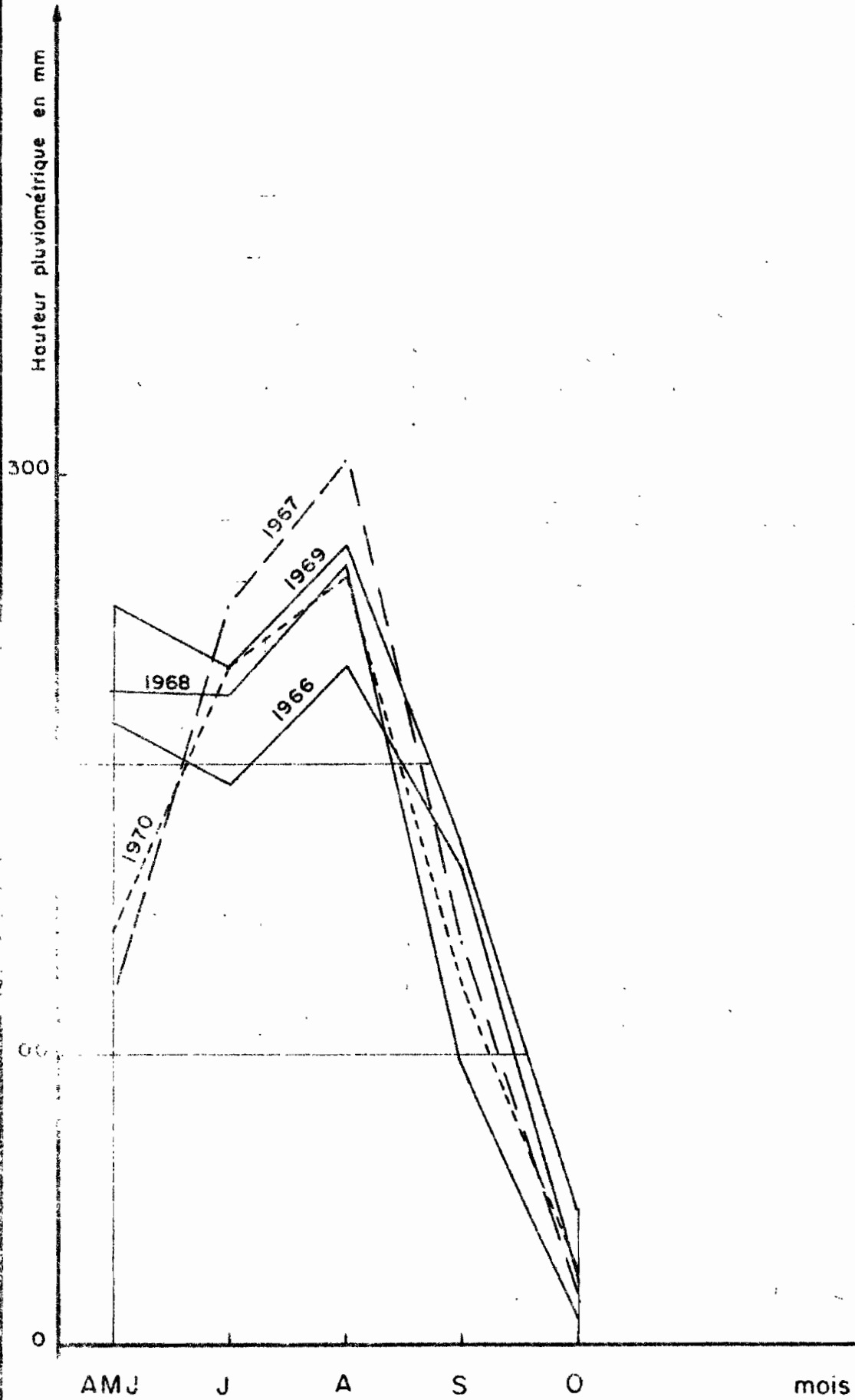
Précipitations mensuelles

Pluieur pluviométrique en mm



KALLIAO à MAROUA

Précipitations mensuelles



TSANAGA à BOGO

Précipitations mensuelles

Hauteurs pluviométriques mensuelles
Bassin de la TSANAGA à MAROUA

Mois / Année	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Année
1966	0	← 149 →	84	193	234	180	16	0	0	856
1967	0	← 150 →	301	341	145	20	0	0	0	957
1968	0	← 242 →	224	306	104	9	0	0	0	885
1969	← 95 →	177	272	313	163	55	0	0	0	1075
1970	0	0	61	86	265	269	148	25	0	854

Bassin du KALLIAO à MAROUA

Mois / Année	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Année
1966	0	← 134 →	65	173	239	156	26	0	0	793
1967		← 88 →	219	310	105	13	0	0	0	735
1968	0	← 217 →	216	271	124	12	0	0	0	840
1969	← 77 →	171	215	280	183	34	0	0	0	960
1970	0	0	45	74	245	215	112	39	0	730

Bassin de la TSANAGA + bassin du KALLIAO à MAROUA

Mois / Année	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Année
1966	0	← 137 →	82	190	238	171	19	0	0	837
1967	0	← 132 →	279	322	137	18	0	0	0	888
1968	0	← 239 →	227	296	98	10	0	0	0	870
1969	← 93 →	180	252	296	170	49	0	0	0	1040
1970	0	0	56	82	259	253	137	29	0	816

Bassin de la TSANAGA à BOGO

Mois / Année	M	A	M	J	J	A	S	O	N	Année
1966	0	← 147 →	67	193	234	165	22	0	0	828
1967	0	← 122 →	255	305	139	15	0	0	0	836
1968	0	← 225 →	224	269	96	9	0	0	0	823
1969	← 91 →	164	234	275	173	47	0	0	0	984
1970	0	0	53	90	234	266	124	26	0	793

Tableau I
Bassin de la TSANAGA
Hauteurs pluviométriques mensuelles 1966

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	
DJOULGOUF	1													
MANBANG	2													
KALLIAO	3													
GAZAOUA	4													
MOKORA	5													
MEFTEK	6	0	0	0	30	50	80	169	216	195	20	0	0	760
DOUVANGAR	7	0	0	0	27	46	81	161	298	178	10	0	0	801
MOKONG	8	0	0	0	30	65	90	212	198	210	2	0	0	807
FOGON	9													
Col de MERI	10													
ZAMAY	11	0	0	0	30	75	110	220	186	228	14	0	0	863
TCHOUGOUF	12													
MOFGUEL	13													
MOKOLO	14													
DJINGLIA	15													
MAGOUMAZ	16													
R O U A	17	0	0	0	35	90	70	158	249	197	16	0	0	815
MAGOUMAY	18	0	0	0	35	203	130	182	268	245	35	0	0	1098
MOKOLO	19	0	0	0	26	84	134	231	367	165	44	0	0	1051
GUETALE	20	0	0	0	47	213	55	96	173	196	24	0	0	804
TCHERE 10	22	0	0	0	23	44	70	135	263	136	20	0	0	691
TCHERE (7)	23	0	0	0	(25)	(44)	(70)	139	303	169	(20)	0	0	770
TCHERE (26)	24													
GODOLA	25	0	0	0	40	62	80	162	418	142	8	0	0	912
PAPATA	26	0	0	0	26	66	34	140	363	150	9	0	0	788

Bassin de la TSANAGA
Hauteurs pluviométriques mensuelles 1966

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
B O G O	27													
BOREIL	28	0	0	0	15	30	65	158	115	133	8	0	0	524
BOUROZANGUI	29													
BALAZA	30	0	0	0	20	27	33	189	313	131	22	0	0	735
MATFAI	31	0	0	0	40	26	53	226	183	63	26	0	0	617
MAROUA	32	0	0	0	91	41	87	265	184	208	56	0	0	922
MAROUA	33													
MESKINE	34	0	0	0	28	17	27	187	134	85	22	0	0	500
DOYANG	35													
SALAK	36	0	0	0	38	26	45	314	247	91	52	0	0	813
ZONGOYA	37	0	0	0	32	50	65	214	201	72	17	0	0	651
GAWAR	38													
KOSSEWA	39													
N'GOYANG	40													
MANGAFE	41													
S I R	42	0	0	0	75	204	96	108	489	137	22	0	0	1131

Tableau III

Bassin de la TSANAGA

Hauteurs pluviométriques mensuelles 1968

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	
BOULGOUF	1	0	0	0	← 193.8 →	226.6	126.3	121.5	7.0	0	0	0	675.2	
LANBANG	2	0	0	0	← 220.7 →	230.1	211.9	118.0	17.0	0	0	0	797.7	
ALLIAO	3	0	0	0	← 247.5 →	236.7	357.5	131.5	1.0	0	0	0	974.2	
HAZAOUA	4	0	0	0	← 200.6 →	180.2	250.4	90.5	TR	0	0	0	721.7	
OKORA	5			T O T A L I S A T E U R - A N N U E L									706.7	
EFTEK	6	0	0	0	← 204.2 →	180.5	371.1	150.0	22.5	0	0	0	928.3	
BOUVANGAR	7	0	0	0	24.8	54.8	151.9	412.1	214.4	109.3	37.6	0	0	1004.8
OKONG	8	0	0	0	14.1	42.8	186.4	143.3	178.2	117.8	8.6	0	0	691.2
OGOM	9			T O T A L I S A T E U R - A N N U E L									918.9	
de MERI	10	0	0	0	← 215.8 →	349.3	331.8	86.2	24.3	0	0	0	1007.6	
AY	11	0	0	0	← 326.1 →	176.0	274.2	93.3	3.0	0	0	0	872.6	
FOUVOUK	12			T O T A L I S A T E U R - A N N U E L									1000.2	
OFJUEL	13	0	0	0	← 198.5 →	238.9	348.7	84.0	3.8	0	0	0	874.9	
OKOLO	14	0	0	0	← 52.9 →	235.2	284.7	274.4	146.6	41.7	0	0	1035.5	
JINGLIA	15	0	0	0	47.6	58.9	321.2	306.4	291.1	142.2	90.4	0	0	1257.8
LAGOUMAZ	16	0	0	0	← 356.1 →	276.4	238.2	119.3	10.5	0	0	0	1000.5	
OUA	17	0	0	0	← 83.9 →	129.2	304.2	433.9	84.3	16.3	0	0	1051.3	
LAGOUMAY	18	0	0	0	← 133.0 →	244.4	169.7	127.8	1.5	0	0	0	676.4	
OKOLO	19	0	0	0	← 309.5 →	258.8	242.4	159.8	24.8	0	0	0	995.3	
UETALE	20	0	0	0	53.8	66.7	253.5	176.7	298.1	170.9	35.0	0	0	1054.7
CHERE 10	22	0	0	0	15.0	70.5	132.0	405.7	245.5	69.1	11.6	0	0	949.4
CHERE 7	23	0	0	0	15.0	32.7	104.0	341.6	286.3	81.5	6.6	0	0	867.7
CHERE 26	24	0	0	0	15.0	62.3	148.9	265.4	279.1	85.9	8.5	0	0	865.9

Tableau IV
Bassin de la TSANAGA

Hauteurs pluviométriques mensuelles 1969

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	
BOULGOUF	1	0	0	0	← 146.0 →	136.5	208.5	142.5	146.0	34.0	0	0	813.5	
LANBANG	2	0	0	0	← 74.5 →	144.5	139.3	240.0	207.5	34.8	0	0	840.6	
ALLIAO	3	0	0	0	← 47.5 →	153.5	188.5	299.0	194.0	31.3	0	0	913.8	
HAZAOUA	4	0	0	0	← 82.5 →	159.5	190.0	240.0	145.5	33.3	0	0	850.8	
YOKORA	5	TOTALISATEUR - ANNUEL											1229.0	
BEFTEK	6	0	0	0	← 56.3 →	216.0	212.5	354.7	132.5	42.5	0	0	1014.5	
DOUVANGAR	7	0	0	11.5	60.8	56.9	256.3	178.9	190.4	184.9	15.0	9.0	0	963.7
MONKONG	8	0	0	0	← 58.0 →	157.0	204.0	361.5	157.0	38.3	0	0	975.8	
BOGOM	9	TOTALISATEUR - ANNUEL											1121.7	
Col de MERI	10	0	0	0	← 114.0 →	218.0	303.0	285.7	168.5	32.5	0	0	1121.7	
AMAY	11	0	0	0	← 141.5 →	196.5	270.5	295.0	119.8	110.5	0	0	1133.8	
BOUVOUK	12	TOTALISATEUR - ANNUEL											915.5	
BOFGOUEL	13	0	0	0	← 109.3 →	204.0	247.5	290.0	118.0	72.5	0	0	1041.3	
BOKOLO	14	0	0	0	← 74.5 →	117.0	417.5	464.3	114.0	56.5	0	0	1243.8	
BOJINGLIA	15	0	0	3.1	49.5	36.3	81.1	389.7	365.1	106.8	67.0	11.2	0	1109.8
BOGOUMAZ	16	TOTALISATEUR - ANNUEL											1210.0	
BOU A	17	0	0	0	61.0	118.5	171.2	291.0	329.7	176.5	50.5	4.7	0	1148.5
BOKOLO	19	FERME												
BOUETALE	20	0	0	1.4	22.1	28.0	108.3	263.2	200.5	154.2	74.9	0	0	852.6
BOBOLA	25	0	0	0	19.6	57.8	172.2	143.0	158.7	218.3	44.9	9.2	0	823.7
BOBATA	26	0	0	0	13.2	25.0	130.2	118.8	193.3	145.8	(27.0)	0	0	(653.3)
BOBO	27	0	0	0	30.2	50.9	118.4	125.0	214.3	159.0	13.7	0	0	710.5
BOREI	28	0	0	0.5	19.9	17.9	82.5	180.9	188.9	88.2	4.2	0	0	593.1
BOUROZANGUI	29	0	0	0	44.6	33.7	97.4	162.0	95.8	121.8	37.4	0	0	592.7
BOBALAZA	30	0	0	0	43.5	26.7	155.5	131.7	151.9	191.4	8.7	0	0	709.1
BOBATFAI	31	0	0	12.2	48.3	94.0	195.7	138.8	189.0	200.4	49.9	0	0	928.3

Bassin de la TSANAGA
Hauteurs pluviométriques mensuelles 1969

	J	F	M	A	M	J	J	A.	S	O	N	D	TOTAL
MAROUA	32	0	0	6.0	42.5	167.0	180.6	244.0	196.3	88.6	0	0	925.0
MAROUA	33	0	0	27.8	44.3	156.3	167.0	229.0	184.5	78.3	0	0	887.2
MESKINE	34	0	0	17.5	30.3	109.4	139.7	179.6	181.5	62.4	0	0	720.4
DOYANG	35	0	0	0.9	71.4	30.0	134.3	182.5	275.6	118.0	11.5	0	824.2
SALAK	36	0	0	41.3	32.5	212.9	201.8	216.6	198.7	35.0	0.6	0	939.4
ZONGOYA	37	0	0	30.0	59.7	114.9	148.1	288.2	216.9	47.7	0	0	905.5
GAWAR	38	0	0	42.2	59.8	214.3	177.3	209.9	148.9	8.5	0	0	940.9
KCSSEWA	39	0	0	8.6	19.7	104.7	208.7	177.3	202.6	incomplet			
DOYANG	40	0	0	← 38.0 →		116.8	183.8	251.6	240.7	74.9	0	0	905.8
MESKINE	41	0	0	← 90.9 →		165.7	200.2	123.8	184.8	3.1	0	0	768.5

Tableau V
Bassin de la TSANAGA

Hauteurs pluviométriques mensuelles 1970

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
BOULGOUF	1	0	0	0	47.5	83.5	178.0	342.0	68.4	27.5	0	0	748.9
ENBAIG	2	0	0	0	57.5	47.8	237.0	443.8	99.0	41.5	0	0	926.5
KALLIAO	3	0	0	0	56.6	72.0	244.4	108.0	84.2	56.5	0	0	622.8
GAZAOUA	4	0	0	0	62.5	100.0	350.5	130.5	149.0	18.0	0	0	311.3
MOKORA	5	T O T A L I S A T E U R - A N N U E L											852.5
MAFTEK	6	0	0	0	36.3	110.2	267.3	176.0	130.5	21.0	0	0	741.3
DOUVANGAR	7	0	0	0	38.7	78.9	372.0	346.9	133.9	21.4	0	0	992.5
MOKONG	8	0	0	0	23.7	101.6	344.8	127.3	138.3	45.0	0	0	784.4
POGOM	9	T O T A L I S A T E U R - A N N U E L											806.3
Col de MERI	10	0	0	0	57.5	52.6	353.5	249.3	171.0	1.0	0	0	885.4
MAMAY	11	0	0	0	59.0	118.2	126.5	375.8	148.5	0	0	0	829.0
BOULGOUF	12	T O T A L I S A T E U R - A N N U E L											648.8
BOFGUEL	13	0	0	0	71.0	83.1	242.5	227.0	100.8	33.8	0	0	760.9
MOKOLO	14	0	0	0	133.0	93.2	182.0	266.8	142.0	14.5	0	0	834.0
BOJINGLIA	15	0	0	0	55.7	50.6	226.0	385.5	169.6	11.3	0	0	918.8
MAGOUMAZ	16	F E R M E											
BOU A	17	0	0	0	62.5	40.2	273.0	355.8	162.9	6.3	0	0	897.9
MAGOU MAY	18	0	0	0	78.0	67.0	208.0	330.5	89.9	1.0	0	0	774.4
MOKOLO	19	F E R M E											
BUETALE	20	0	0	0	48.7	58.5	286.0	377.1	153.9	21.4	0	0	953.4
CHERE 10	22	F E R M E											
CHERE 7	23	F E R M E											
CHERE 26	24	F E R M E											

Bassin de la TSANAGA
Hauteurs pluviométriques mensuelles 1970

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
GODOLA	25	0	0	0	48.9	48.8	264.9	382.5	127.8	22.2	0	0	895.1
PAPATA	26	0	0	0	75.9	86.3	270.9	374.6	39.6	1.5	0	0	848.8
B O G O	27	0	0	0	74.7	64.4	209.7	354.2	85.2	0	0	0	798.3
BOREI	28	0	0	0	55.0	81.9	133.7	238.5	112.1	15.5	0	0	636.7
OUROZANGUI	29	0	0	0	33.2	75.2	145.0	303.3	84.4	30.7	0	0	671.8
BALAZA	30	0	0	0	29.5	71.6	211.0	437.9	92.8	12.4	0	0	855.2
MATFAI	31	0	0	0	27.1	66.7	166.9	399.9	127.1	0	0	0	788.3
MAROUA	32	0	0	0	37.7	F E R M E							
MAROUA	33	0	0	0	25.0	53.3	130.5	334.3	148.0	27.0	0	0	717.7
MAROUA	34	0	0	0	54.0	62.2	130.8	260.5	126.4	31.4	0	0	667.3
MAROUA	35	0	0	0	27.6	32.3	159.3	337.6	155.5	23.5	0	0	735.8
MAROUA	36	0	0	0	39.5	119.5	144.0	423.0	127.5	5.3	0	0	860.8
MAROUA	37	0	0	0	61.1	83.1	172.4	331.1	125.0	30.4	0	0	803.4
MAROUA	38	0	0	0	26.8	44.6	108.2	247.2	150.7	38.4	0	0	617.2
MAROUA	39	0	0	0	47.3	40.0	189.2	323.8	61.3	26.6	0	0	628.4
MAROUA	40	0	0	0	42.4	131.1	138.1	273.5	127.1	47.1	0	0	753.9
MAROUA	41	0	0	0	49.0	34.1	176.5	316.9	84.1	0	0	0	660.6

2.3.2. Les observations hydrométriques.

Les tableaux VI à XX en annexe donnent les débits moyens journaliers, observés à chacune des stations au cours des cinq années d'étude, calculés à partir des enregistrements limni-graphiques, ainsi que les débits maximaux.

Nous avons regroupé, ci-dessous les débits moyens mensuels et annuels en m³/s :

TSANAGA à MAROUA

	J	J	A	S	O	N	Module
1966	~ 0	8,2	23,7	26,0	3,9	0	5,3
1967	0	23,6	38,5	25,9	1,69	0	7,55
1968	4,98	19,4	34,5	17,3	2,21	0	6,6
1969	1,99	11,6	35,1	18,0	2,95	0,04	5,9
1970	~ 0	3,2	34,6	25,0	2,34	0	5,5
Moyenne	1,4	13,2	34,3	22,4	2,62	~ 0	6,2

KALLIAO à MAROUA

	J	J	A	S	O	N	Module
1966	0	(3,8)	7,1	4,1	0,10	0	1,30
1967	0,09	5,05	13,7	8,0	0,57	0	2,3
1968	0,30	4,9	7,0	3,45	0,11	0	1,33
1969	2,21	3,1	7,4	6,6	0,22	0,01	1,63
1970	0,03	3,4	11,9	4,9	0,20	0	1,79
Moyenne	0,53	4,0	9,4	5,4	0,24	~ 0	1,67

TSANAGA à BOGO

	J	J	A	S	O	N	Module
1966	~ 0	18,2	34,5	29,0	1,7	0	7,0
1967	~ 0	22,8	50,5	46,9	1,9	0	10,1
1968	3,4	23,4	46,2	21,9	1,3	0	8,1
1969	3,35	15,0	54,0	30,7	2,85	~ 0	8,9
1970	~ 0	6,8	63,9	34,4	1,9	0	9,0
Moyenne	1,35	17,2	49,8	32,6	1,9	~ 0	8,6

Les modules spécifiques sont respectivement :

TSANAGA à MAROUA	:	7,3 l/s x km ²
KALLIAO à MAROUA	:	4,7 l/s x km ²
TSANAGA à BOGO	:	5,6 l/s x km ²

L'évolution de l'humidité du sol, de la recharge des nappes et de la croissance de la végétation se retrouve dans le fait que si le mois le plus pluvieux (Août) est également

celui où s'observe la plus forte hydraulité, par contre, le mois de septembre a un débit moyen généralement supérieur à celui du mois de Juillet qui jouit pourtant d'une pluviosité plus forte. Toutefois, ce phénomène est moins sensible sur le bassin du KALLIAO que sur celui de la TSANAGA.

Les tableaux, ci-dessous, qui donnent les coefficients d'écoulement mensuels, montrent bien cette évolution.

TSANAGA à MAROUA

	A	M	J	J	A	S	O	N	Année
1966	~ 0			13,5	32,0	44,4	75,0	~ 0	23
1967	~ 0			24,9	35,8	54,4	25,0	~ 0	29
1968	6,2			27,2	35,7	51,0	77,8	~ 0	28
1969	0,7			13,6	35,1	33,7	16,4	~ 0	20
1970	~ 0			12,1	40,9	52,0	28,0	~ 0	24
Moyenne	1,4			18,3	35,9	39,1	44,4	~ 0	25

KALLIAO à MAROUA

	A	M	J	J	A	S	O	N	Année
1966	0			16,8	22,7	19,2	3,8	0	15
1967	1,1			17,4	33,2	55,2	30,8	0	28
1968	0,9			17,1	19,6	20,2	8,3	0	14
1969	6,5			10,7	20,0	26,2	5,9	~ 0	15
1970	~ 0			10,6	41,9	32,1	5,1	0	21
Moyenne	1,7			14,5	27,5	30,6	10,8	0	19

TSANAGA à BOGO

	A	M	J	J	A	S	O	N	Année
1966	~ 0			16,6	25,2	29,7	13,6	0	17
1967	~ 0			15,7	28,9	56,8	20,0	0	25
1968	2,7			18,3	30,1	38,5	22,2	0	20
1969	2,4			11,1	34,2	30,1	10,6	~ 0	18
1970	~ 0			5,1	42,1	46,8	11,5	0	23
Moyenne	1,0			13,4	32,1	40,4	15,6	0	21

C H A P I T R E III

INTERPRETATION DU REGIME HYDROLOGIQUE

Comme nous l'avons déjà précisé lors de l'étude des facteurs climabologiques, le bassin de la TSANAGA est soumis au climat tropical pur, caractérisé par l'alternance d'une saison humide, de Juillet à début Octobre, qui correspond à une période pendant laquelle est observé un écoulement permanent qui peut passer, en quelques heures de quelques mètres cube seconde à plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de mètres cube seconde, et d'une saison sèche, de Novembre à Juin, durant laquelle, seule subsiste dans le lit des mayos une nappe d'inféoflux relativement peu profonde, mais de faible débit. En fait l'hydrogramme annuel est constitué surtout par une succession de crues.

3.1. LES CRUES.

Les crues se présentent sous forme de gonflements brutaux, avec des temps de montée relativement courts, en regard de la superficie des bassins versants.

3.1.1. Estimation sommaire des crues exceptionnelles.

Les débits maximaux observés au cours des cinq années d'études sont respectivement :

TSANAGA à MAROUA :

1966	$Q_{max} = 198 \text{ m}^3/\text{s}$	$(234 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 4 Septembre.
1967	$Q_{max} = (340 \text{ m}^3/\text{s})$	$(402 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	les 27-28 Août.
1968	$Q_{max} = 245 \text{ m}^3/\text{s}$	$(290 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 23 Août.
1969	$Q_{max} = 235 \text{ m}^3/\text{s}$	$(278 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 26 Août.
1970	$Q_{max} = 227 \text{ m}^3/\text{s}$	$(267 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 18 Septembre.

KALLIAO à MAROUA :

1966	$Q_{max} = 182 \text{ m}^3/\text{s}$	$(513 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 10 Août.
1967	$Q_{max} = 227 \text{ m}^3/\text{s}$	$(639 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 31 Août.
1968	$Q_{max} = 252 \text{ m}^3/\text{s}$	$(710 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 29 Août.
1969	$Q_{max} = (330 \text{ m}^3/\text{s})$	$(930 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 3 Août.
1970	$Q_{max} = (389 \text{ m}^3/\text{s})$	$(1096 \text{ l/s} \times \text{km}^2)$,	le 27 Août.

TSANAGA à BOGO :

1966	$Q_{max} = 123 \text{ m}^3/\text{s}$	(80 l/s x km ²),	le 1er Août.
1967	$Q_{max} = 270 \text{ m}^3/\text{s}$	(176 l/s x km ²),	le 1er Septembre
1968	$Q_{max} = 225 \text{ m}^3/\text{s}$	(147 l/s x km ²),	le 23 Août.
1969	$Q_{max} = 208 \text{ m}^3/\text{s}$	(136 l/s x km ²),	le 3 Août.
1970	$Q_{max} = 258 \text{ m}^3/\text{s}$	(168 l/s x km ²),	le 27 Août.

Nous rappelons au chapitre V les débits maximums observés durant la période 1953 - 1955.

Etant donné le petit nombre d'année d'observations et surtout les fortes irrégularités inter-annuelles, il nous semble délicat d'évaluer les crues de fréquences rares.

Nous avons tout de même estimé les débits suivant :
période de retour 2 ans :

TSANAGA à MAROUA	~ 240 m ³ /s
KALLIAO à MAROUA	~ 260 m ³ /s
TSANAGA à BOGO	~ 230 m ³ /s.

période de retour 5 ans :

TSANAGA à MAROUA	~ 300 m ³ /s
KALLIAO à MAROUA	~ 380 m ³ /s
TSANAGA à BOGO	~ 280 m ³ /s.

période de retour 10 ans :

- La crue décennale de la TSANAGA à MAROUA est probablement inférieure à 400 m³/s, alors qu'à BOGO elle doit être voisine de 350 m³/s.
- Pour le KALLIAO nous la situons entre 450 et 500 m³/s.

Notons que les crues de fréquences rares surviendront généralement au cours de la deuxième moitié de la saison des pluies, entre le 15 Août et le début du mois de Septembre.

3.1.2. Description des principales crues.

En 1966

- Crue des 31 Juillet et 1er Août

L'hydrogramme, tant sur le KALLIAO que sur la TSANAGA

à MAROUA présente trois paliers de montée. Les maximums ont lieu à 11 h 05, le 31 Juillet, pour le KALLIAO et à 20 h 30 pour la TSANAGA avec des débits de pointe respectivement de 135 et 61,7 m³/s. Le débit correspondant à BOGO a été estimé à 123 m³/s, le limnigraphe de cette station n'étant pas encore installé à cette date.

- Crue des 10 et 11 Août.

Cette crue est issue, principalement du KALLIAO où le maximum a eu lieu à 12 h 00, avec un débit de 182 m³/s (maximum observé en 1966). L'hydrogramme est assez régulier, bien que présentant un palier dans la montée (graphique 38).

L'hydrogramme de la TSANAGA à MAROUA est irrégulier. Le maximum (67,9 m³/s) a eu lieu à 15 h 30, tandis qu'il avait été observé à 09 h 30 à GAZAWA.

A BOGO, toutes les irrégularités des hydrogrammes ont été amorties et l'hydrogramme résultant est très régulier. Le maximum a lieu le 11 Août à 01 h 00, avec un débit de 118 m³/s (graphique 39).

- Crue du 4 Septembre.

Elle provient de l'amont de la TSANAGA où, à GAZAWA, le maximum a été observé à 02 h 30. L'hydrogramme est très régulier avec une montée rapide (03 h 20). A la station de MAROUA l'hydrogramme est encore plus pointu (temps de montée 02 h 20) et le débit atteint 198 m³/s (maximum observé en 1966) à 06 h 50 (graphique 40).

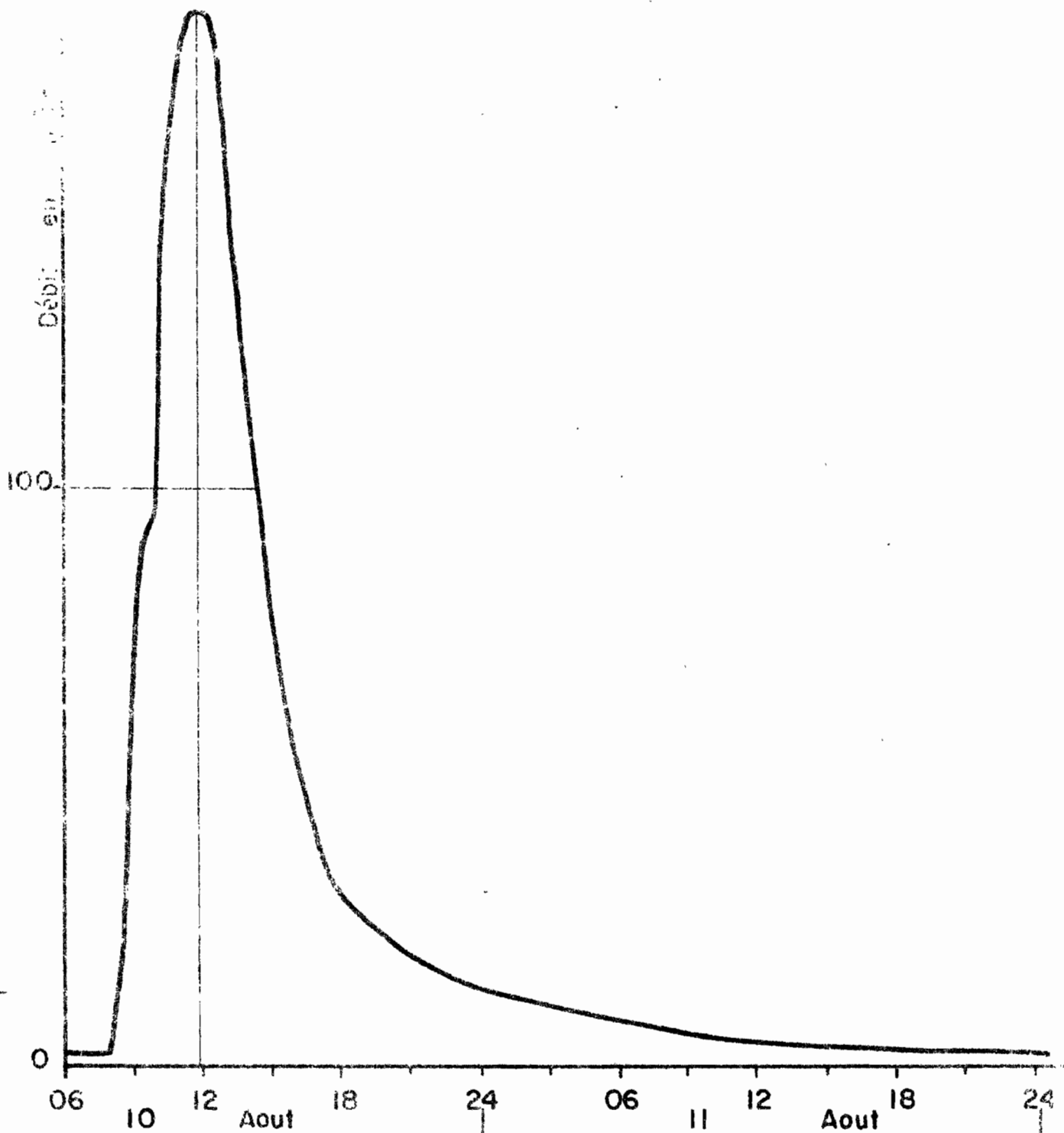
Le KALLIAO a une crue, très modeste, de 19,2 m³/s de débit maximal (observé à 04 h 00).

A BOGO, le maximum (112 m³/s) a lieu à 21 h 40.

Le Mayo KALLIAO à MAROUA

Crue du 10 Aout 1966

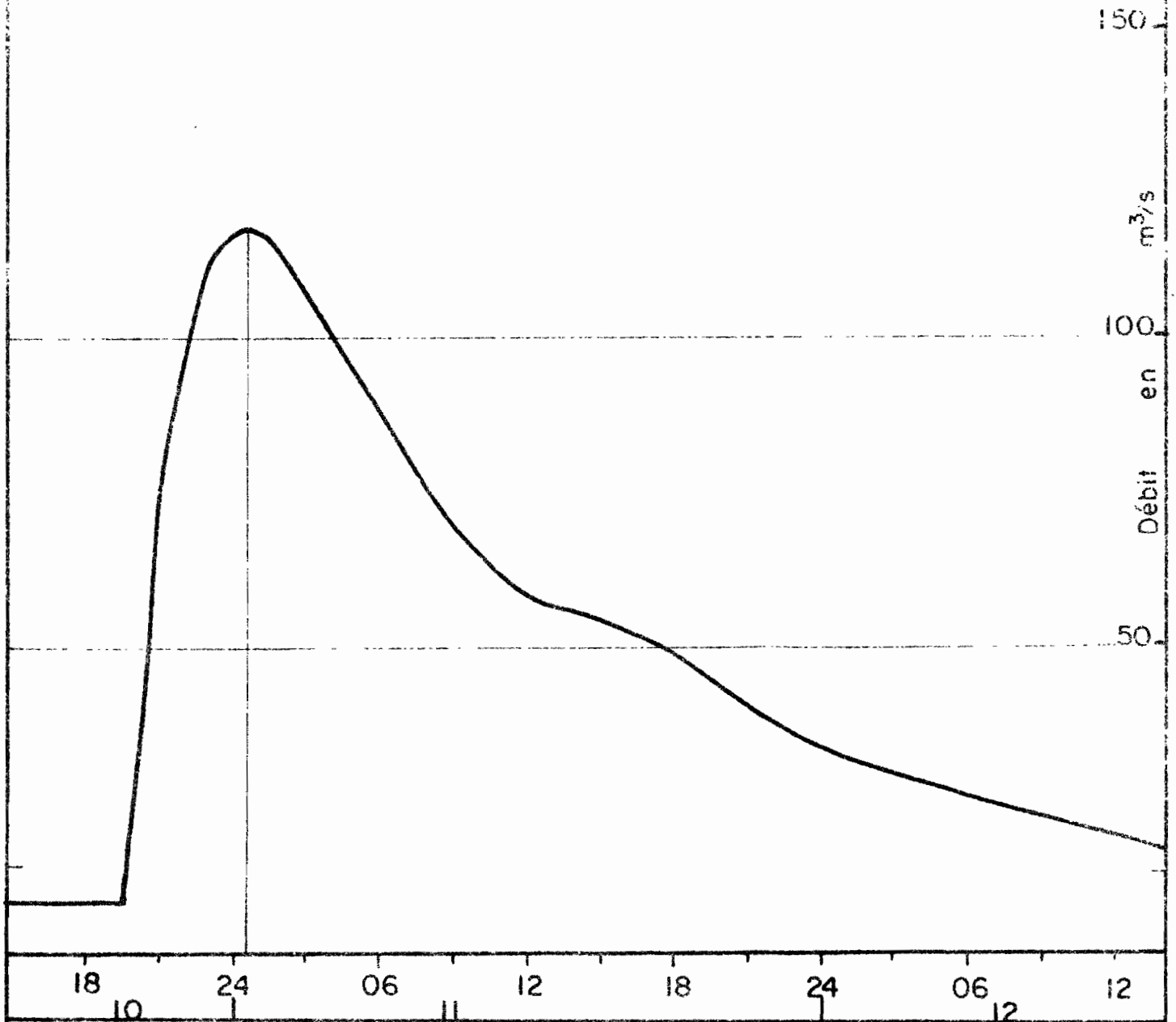
(Débit maximum : 182 m/s)



Le Mayo TSANAGA à BOGO

Crue du 10 Aout 1966

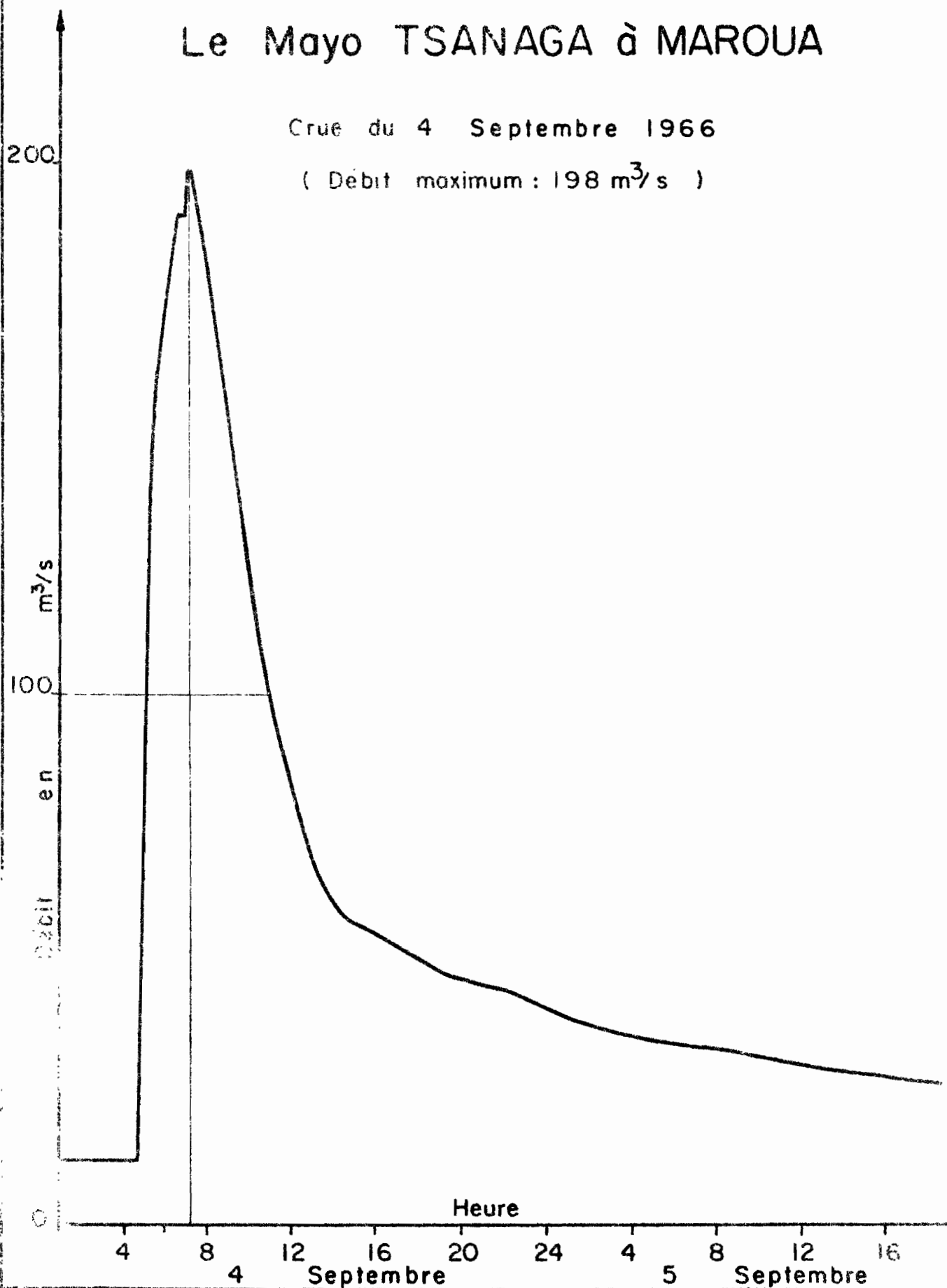
(Débit maximum : $118 \text{ m}^3/\text{s}$)



Le Mayo TSANAGA à MAROUA

Crue du 4 Septembre 1966

(Débit maximum : 198 m³/s)



- En 1967.

- Crue des 27 et 28 Août.

Cette crue est la plus forte enregistrée en 1967 sur la TSANAGA à MAROUA (Q_{\max} estimé à $340 \text{ m}^3/\text{s}$). L'hydrogramme est assez régulier bien que présentant un palier dans la montée (temps de montée = 08 h 00). Par contre, l'hydrogramme du KALLIAO est irrégulier avec un temps de montée très long (06 h 00). Le maximum enregistré est le deuxième de l'année ($Q_{\max} = 182 \text{ m}^3/\text{s}$).

L'hydrogramme observé, à BOGO, a un temps de montée, également, très long ($t_m = 36$ heures) ce qui lui donne une forme assez molle bien que le débit maximum atteigne $237 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Crue des 31 Août et 1er Septembre.

C'est la plus forte crue enregistrée, en 1967, sur le KALLIAO ($Q_{\max} = 227 \text{ m}^3/\text{s}$). L'hydrogramme est assez régulier, avec, toutefois, un temps de montée un peu long ($t_m = 05$ h 00). La TSANAGA à MAROUA n'a qu'un débit maximal de $196 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui donne, malgré tout, à BOGO le plus fort débit enregistré en 1967 ($Q_{\max} = 270 \text{ m}^3/\text{s}$).

L'importance de ces débits s'explique par le fait que quatre crues importantes se sont succédées en, à peine, deux jours et demi, les écarts entre chaque crue n'étant pas suffisants pour permettre un retour au niveau de base.

- En 1968.

- Crue du 23 Août.

Cette crue a probablement été provoquée par une averse relativement homogène.

L'hydrogramme observé sur le KALLIAO est un peu mou avec un débit maximal de $97 \text{ m}^3/\text{s}$ (à 15 h 00) et un temps de montée et de base assez long (07 h 00 et 19 h 00).

L'hydrogramme de la TSANAGA à MAROUA présente un palier qui allonge son temps de montée (09 h 00). Le maximum, $219 \text{ m}^3/\text{s}$, est observé à 18 heures.

L'hydrogramme résultant à BOGO est, également, assez mou : temps de montée de 20 heures, maximum à 18 h 00 égal à $194 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Crue du 25 Août.

Cette crue est la plus forte de l'année observée sur la TSANAGA, tant à MAROUA qu'à BOGO.

L'hydrogramme enregistré sur le KALLIAO est irrégulier avec un temps de montée de 05 h 00 et un maximum de $209 \text{ m}^3/\text{s}$ qui survient à 10 h 00, le temps de base étant de 18 h 00.

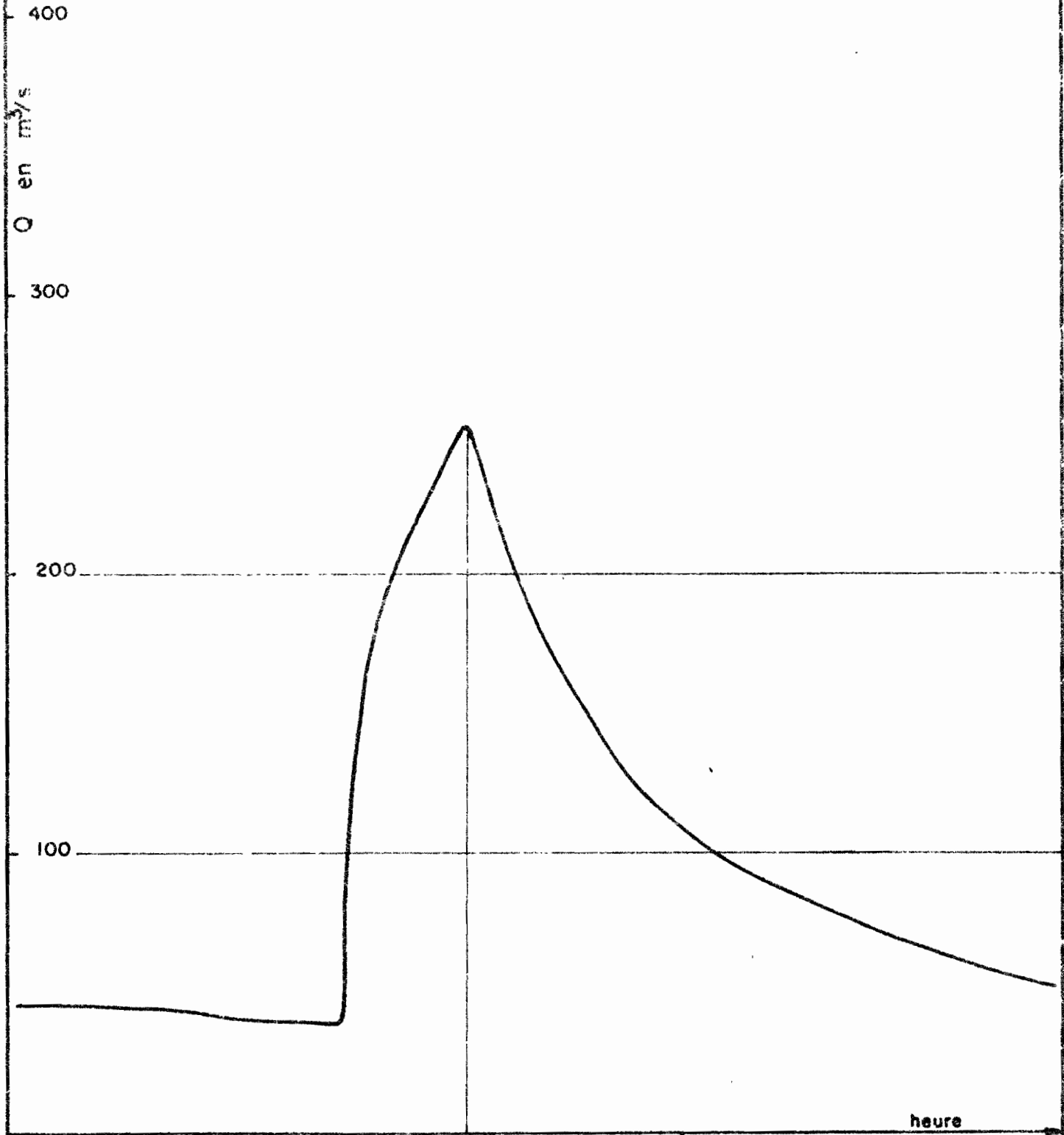
L'hydrogramme de la TSANAGA à MAROUA présente une montée régulière qui dure 04 h 00 et un temps de base égal à 22 h 00. Le maximum ($245 \text{ m}^3/\text{s}$) est enregistré à 16 h 30 (graphique 41).

La crue observée à BOGO est très longue puisque le temps de montée est égal à 23 h 00 et le temps de base à 48 h 00. Le maximum de $225 \text{ m}^3/\text{s}$ a été atteint le 26 Août à 09 h 00 (graphique 42).

- Crue des 28 - 29 Août.

Cette crue est la plus forte enregistrée sur le KALLIAO en 1968 ($Q_{\text{max}} = 242 \text{ m}^3/\text{s}$). Elle a une forme régulière avec un temps de montée de 04 h 00 et un temps de base de 24 h 00. Le maximum est observé à 03 h 00 (graphique 43). L'hydrogramme de la TSANAGA à MAROUA est plus compact (temps de montée de 03 h 00, temps de base de 19 h 00). Le maximum, $137 \text{ m}^3/\text{s}$, survient à 11 h 00.

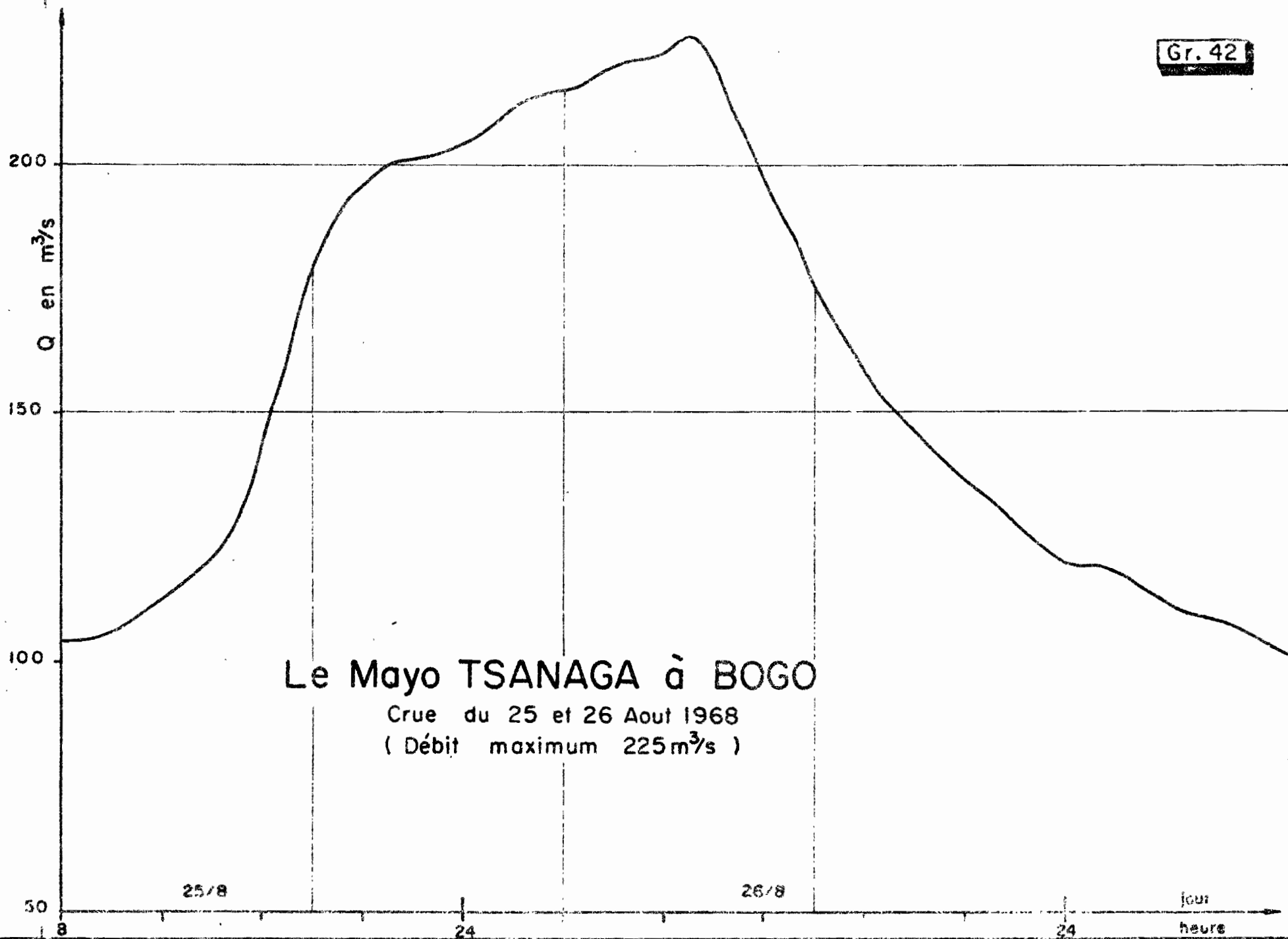
L'hydrogramme résultant à BOGO a une montée régulière, mais présente deux pointes, la première à 15 h 30 avec $Q_{\text{max}} = 190 \text{ m}^3/\text{s}$, la seconde à 23 h 00 avec $Q_{\text{max}} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui donne un temps de base de 37 heures.



Le Mayo TSANAGA à MAROUA

Crue du 25 Aout 1968

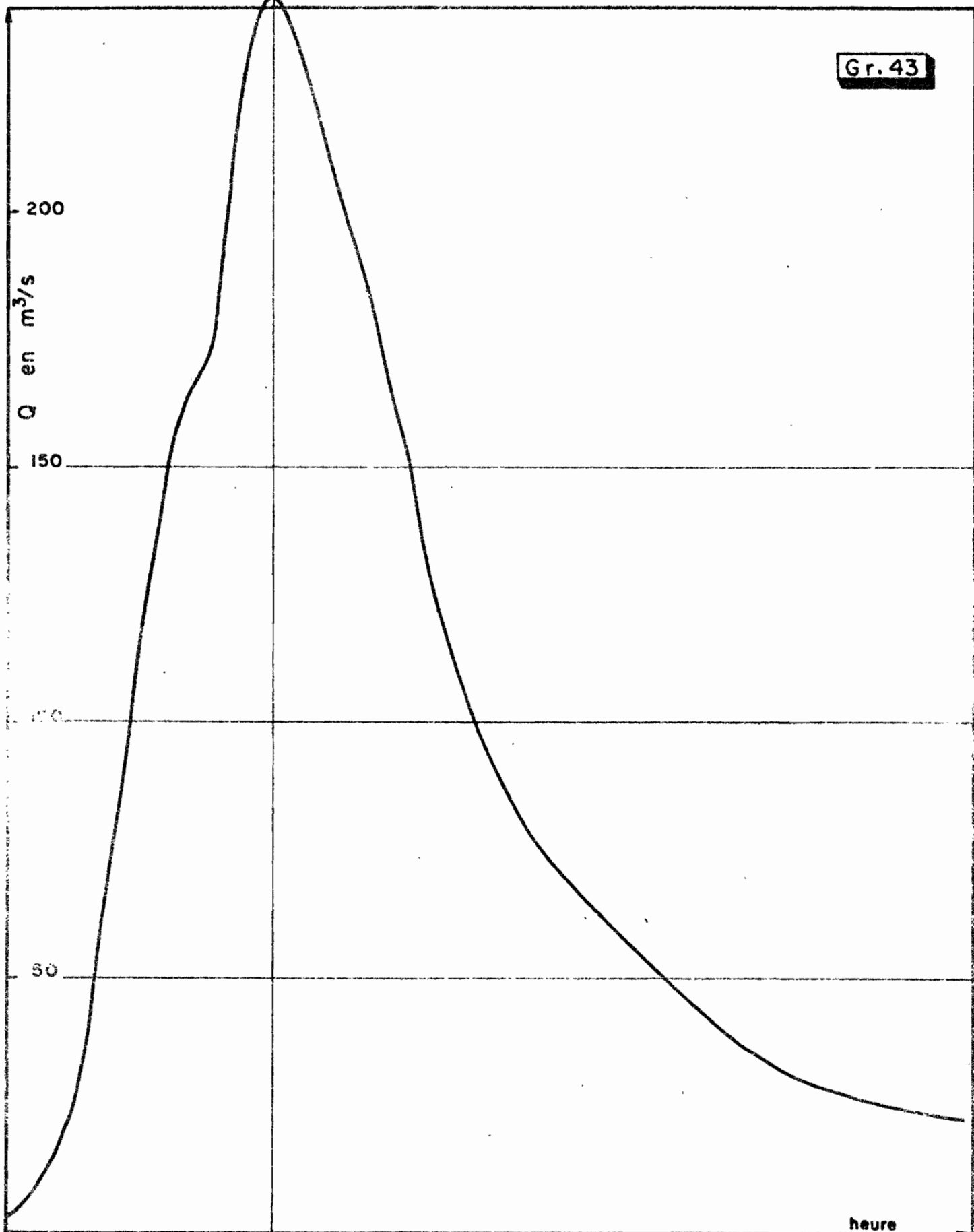
(Débit maximum 245m³/s)



Le Mayo TSANAGA à BOGO

Crue du 25 et 26 Aout 1968
(Débit maximum 225m³/s)

Gr. 43



Le Mayo KALLIAO à MAROUA

Crue du 29 Aout 1968

(Débit maximum 242 m^3/s)

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date des.

--

- En 1969.
- Crue du 3 Août.

Cette crue est la plus forte observée en 1969, sur le KALLIAO à MAROUA et la TSANAGA à BOGO.

L'hydrogramme du KALLIAO présente un petit palier à la montée et deux maximums séparés de 02 h 30 ($Q_1 = 320 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2 = 330 \text{ m}^3/\text{s}$). Le temps de montée qui permet au débit de passer de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ à $320 \text{ m}^3/\text{s}$ ne dure que 3 h 00 (heures des maximums : 3 h 00 et 5 h 30).

La crue de la TSANAGA à MAROUA est régulière mais assez molle :

temps de montée : 9 h 00
temps de base : 24 h 00
 $Q_{\text{max}} = 169 \text{ m}^3/\text{s}$ à 9 h 00.

L'hydrogramme enregistré à BOGO présente une montée rapide jusqu'à $160 \text{ m}^3/\text{s}$ (4 h 00), mais le maximum ($Q_{\text{max}} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$) n'est atteint que 9 h 30 plus tard à 23 h 30. Le temps de base est égal à 40 h 00.

- Crue des 26 - 27 Août.

C'est la plus forte crue de l'année observée sur la TSANAGA à MAROUA.

Elle présente un petit palier à la montée et une forme assez irrégulière avec un temps de montée de 11 heures et un temps de base de 32 heures. La pointe de crue observée à 13 h 00 atteint $235 \text{ m}^3/\text{s}$.

La crue du KALLIAO est de faible importance ($Q_{\text{max}} = 59,9 \text{ m}^3/\text{s}$).

A BOGO, l'hydrogramme présente une forme classique avec un temps de montée de 12 h 00, le maximum égal à $194 \text{ m}^3/\text{s}$ étant atteint à 2 h 00, le 27 Août.

- En 1970.

- Crue des 27 - 28 Août.

C'est la plus forte crue observée sur le KALLIAO à MAROUA, au cours des 5 années d'étude. L'hydrogramme présente encore deux pointes séparées de 2 h 30 ($Q_1 = 389 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2 = 356 \text{ m}^3/\text{s}$ observés respectivement à 15 h 00 et 17 h 30), avec un temps de montée pour le premier maximum de 2 h 30 (graphique 44).

La crue de la TSANAGA à MAROUA est relativement peu importante ($Q_{\text{max}} = 149 \text{ m}^3/\text{s}$). Avec un temps de montée de 3 h 00.

L'hydrogramme résultant à BOGO est assez régulier avec un temps de montée de 26 heures. Le maximum égal à $258 \text{ m}^3/\text{s}$ est atteint le 28 Août à 16 h 00. C'est le plus fort débit enregistré en 1970 (graphique 45).

- Crue du 18 Septembre.

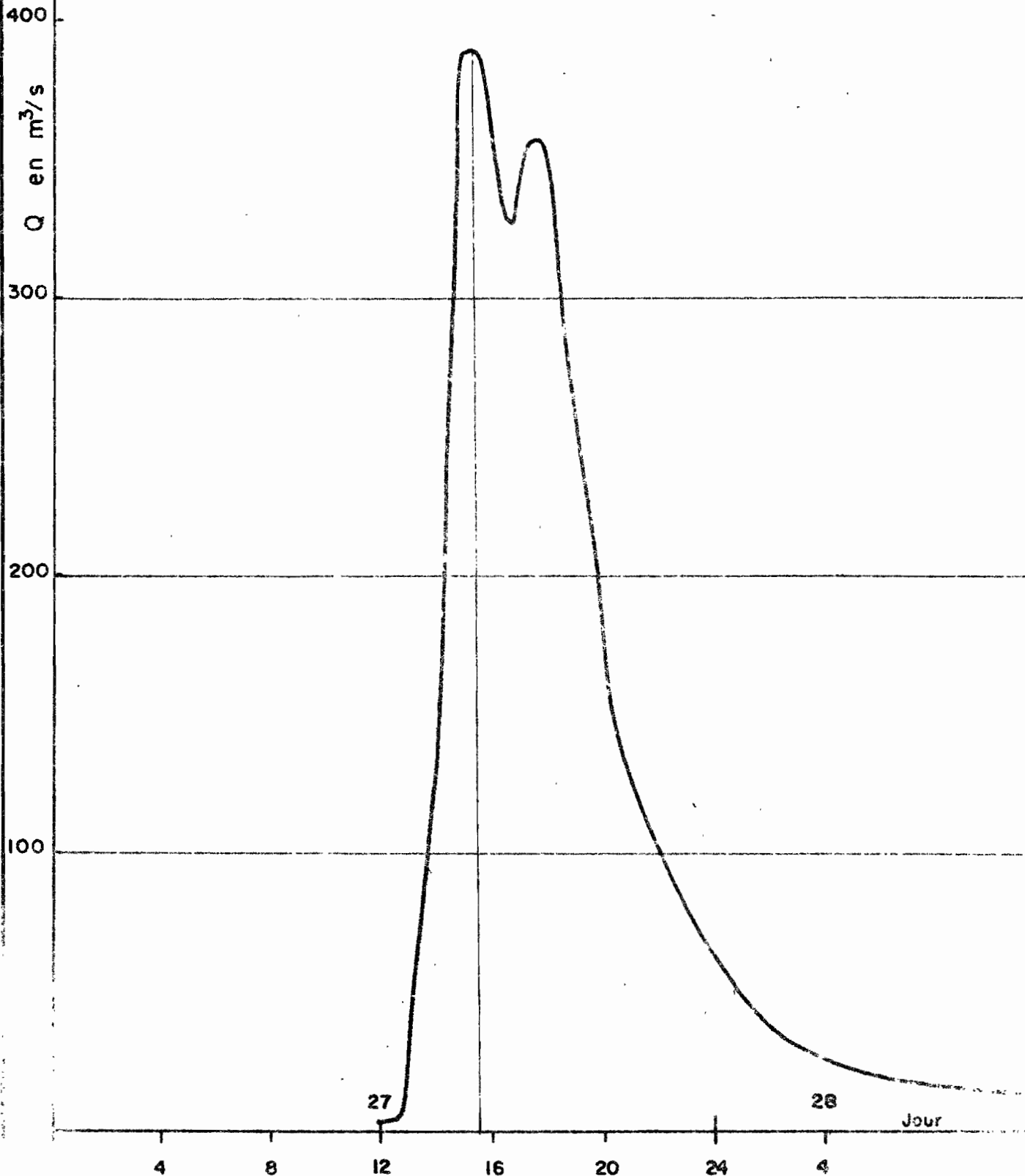
L'hydrogramme de la TSANAGA à MAROUA, présente un palier à la montée et une forme assez molle. Le temps de montée est de 13 heures et le maximum, le plus fort de l'année ($Q_{\text{max}} = 227 \text{ m}^3/\text{s}$) est atteint à 16 h 30 (graphique 46).

Le KALLIAO présente, également, un hydrogramme irrégulier avec un temps de montée égal à 9 h 00. Toutefois, le débit passe de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ à $86 \text{ m}^3/\text{s}$ en 3 heures seulement.

A BOGO, on enregistre un palier à la montée et un fléchissement aux alentours de $170 \text{ m}^3/\text{s}$. Le temps de montée est ainsi de 22 h 00. Le maximum, égal à $196 \text{ m}^3/\text{s}$ est atteint le 19 Septembre à 8 h 00.

Nous avons regroupé dans le tableau XXI les caractéristiques des principales crues.

Gr. 44



Le Mayo KALLIAO à MAROUA

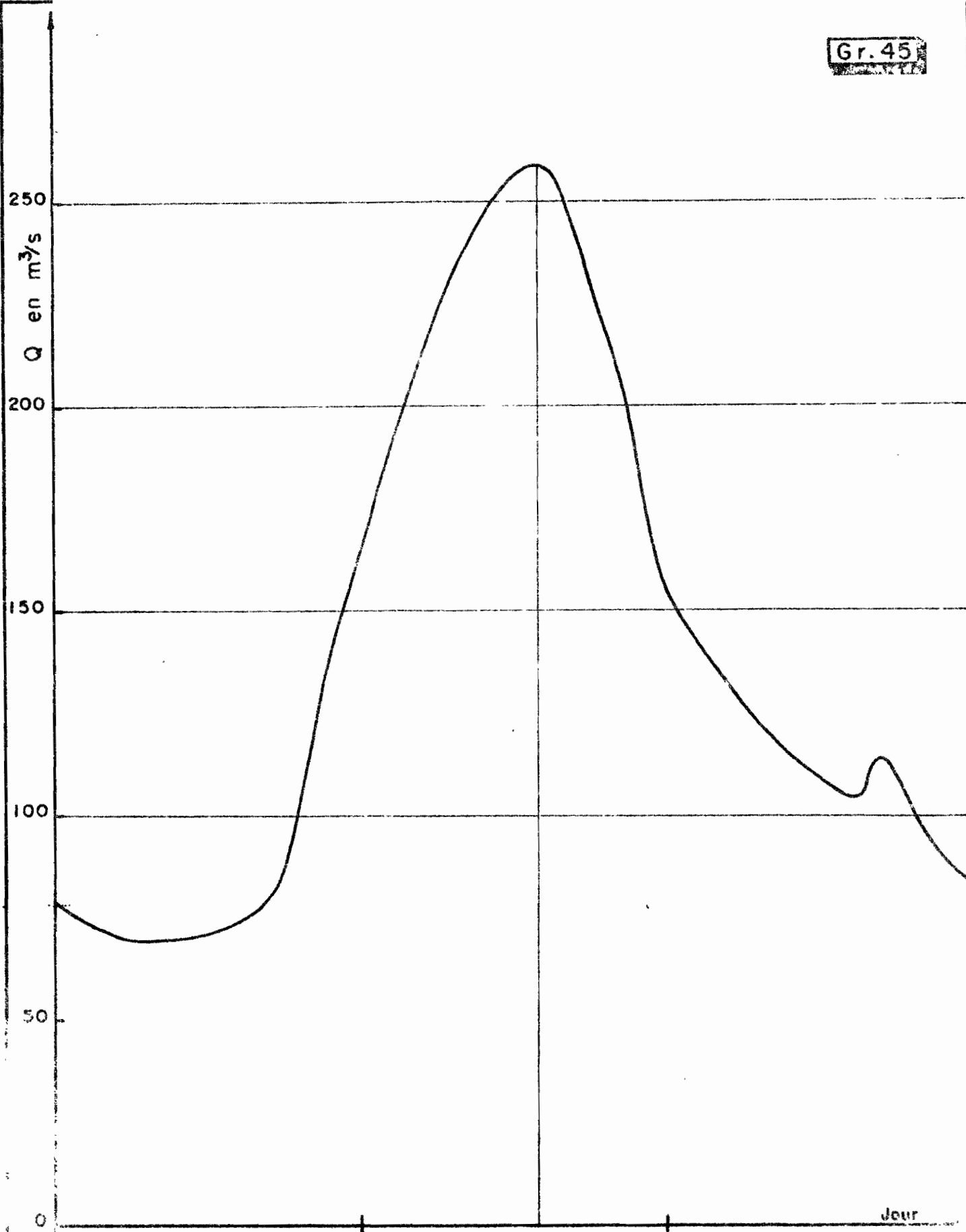
Crué du 27 Aout 1970

(Débit maximum 389 m³/s)

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date des.

Gr. 45



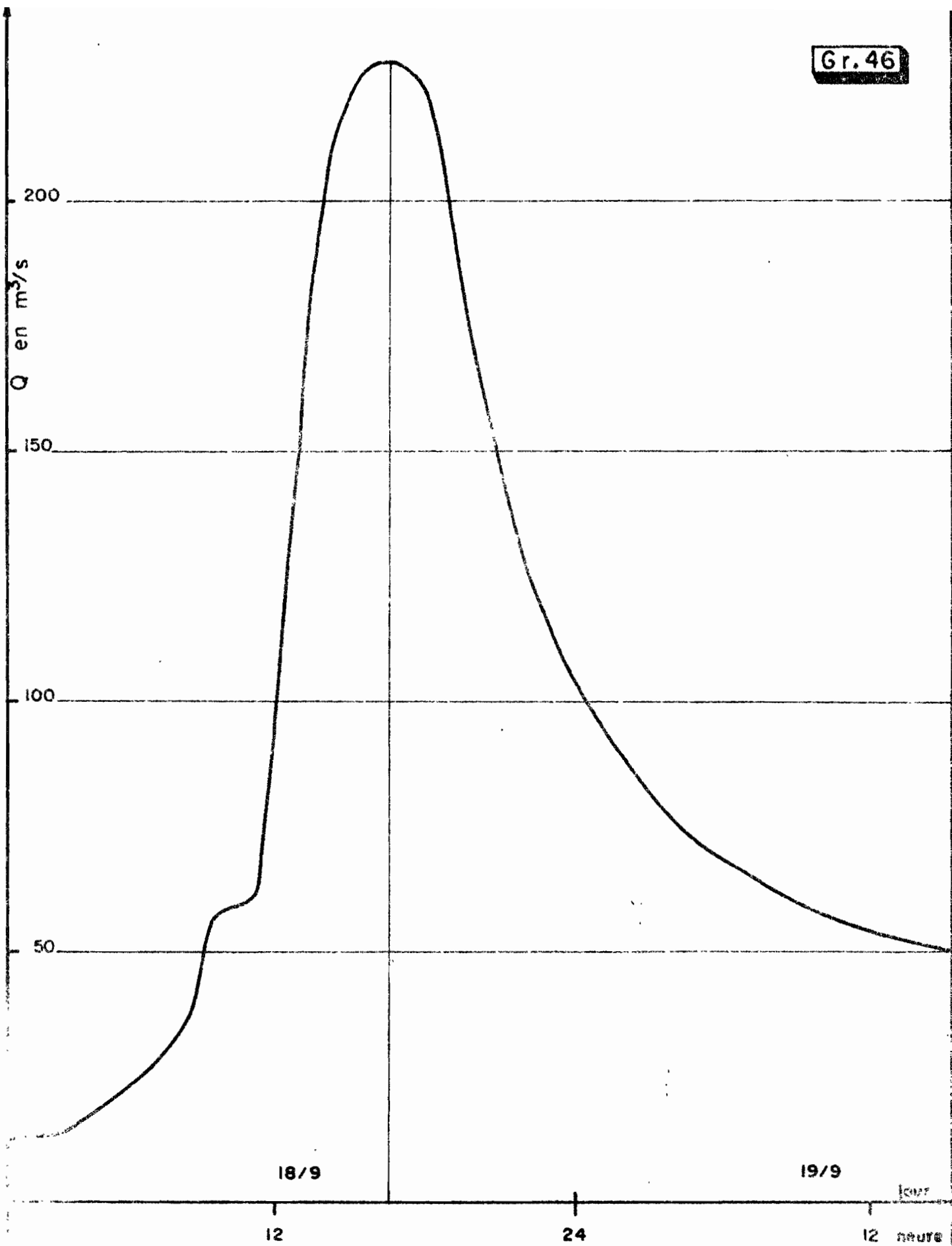
Le Mayo TSANAGA à BOGO

Crue du 27 Aout 1970
(Débit maximum 258 m³/s)

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date des.

Gr. 46



Le Mayo TSANAGA à MAROUA

Crue du 18 Septembre 1970

(Débit maximum $227m^3/s$)

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

--

3.1.3. Caractéristiques des hydrogrammes.

Sur les graphiques 47 à 50 figurent les distributions statistiques des temps de montée et de base des trois stations étudiées, les fréquences relatives étant calculées à partir d'un échantillon de valeurs voisin de 50.

Nous n'avons pas séparé les crues simples, des crues complexes, ce qui, pour des bassins de cette importance n'est pas toujours aisé, et n'a pas, surtout, une signification très précise. Nous pouvons malgré tout définir un hydrogramme type ayant les caractéristiques suivantes :

- Temps de montée.

TSANAGA à MAROUA : 3 à 4 heures,
KALLIAO à MAROUA : 2 à 3 heures,
TSANAGA à BOGO : 6 à 7 heures.

- Temps de base.

TSANAGA à MAROUA : 20 à 25 heures,
KALLIAO à MAROUA : 14 à 17 heures,
TSANAGA à BOGO : variable, car les crues sont très fréquemment complexes (de 1 à plus de 2 jours).

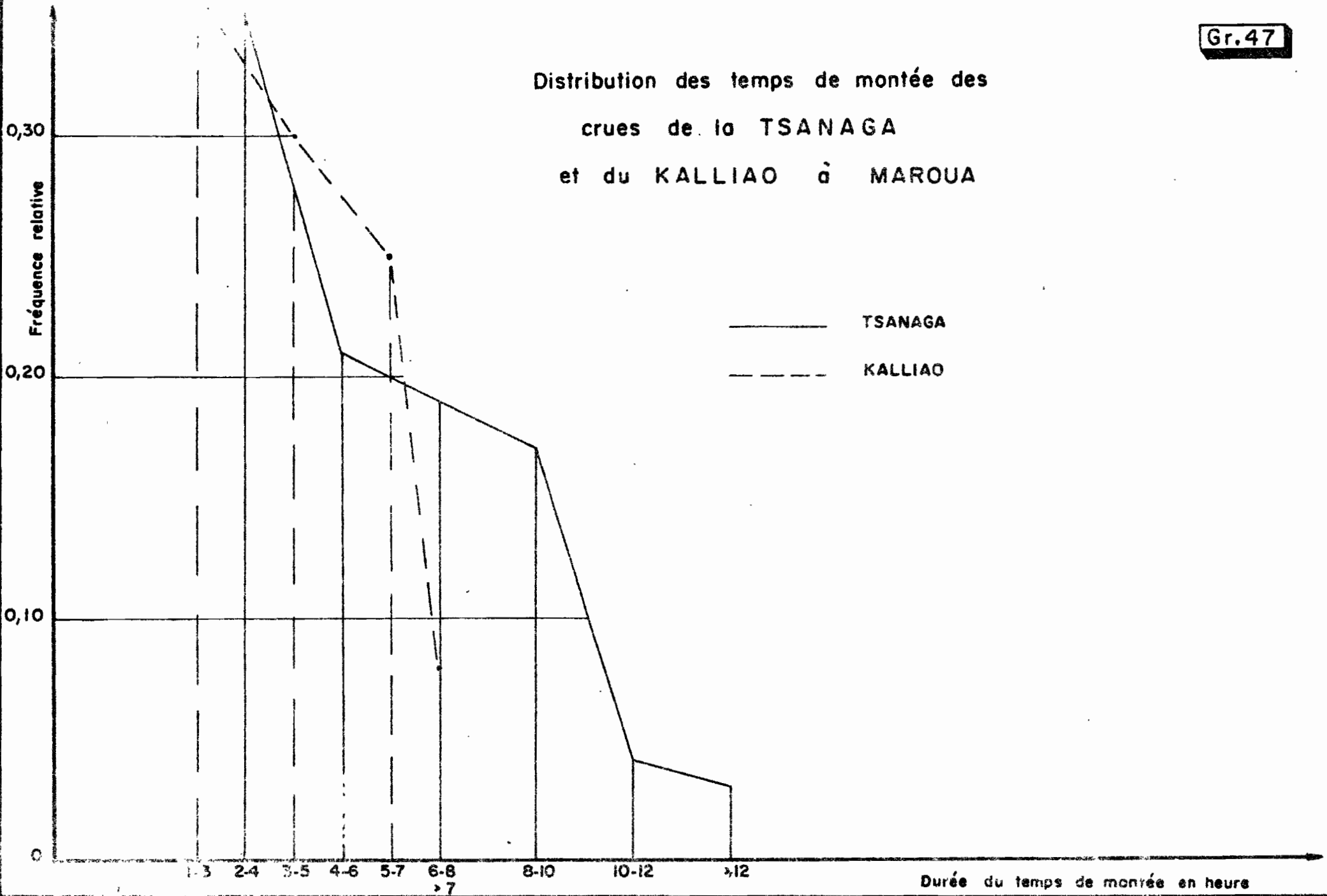
3.1.4. Evolution des crues entre MAROUA et BOGO.

3.1.4.1. Propagation de l'onde de crue.

Le temps de propagation de l'onde de crue entre MAROUA (TSANAGA ou KALLIAO) et BOGO a été défini en calculant le temps séparant les pointes de crues provoquées (ou supposées telles) par un même épisode pluvieux. Cette méthode n'est pas très rigoureuse car il conviendrait d'étudier séparément les crues issues du KALLIAO et celles issues de la TSANAGA. Ceci n'est vraiment possible que pour des averses localisées sur l'un ou l'autre bassin (voir tableau XXI).

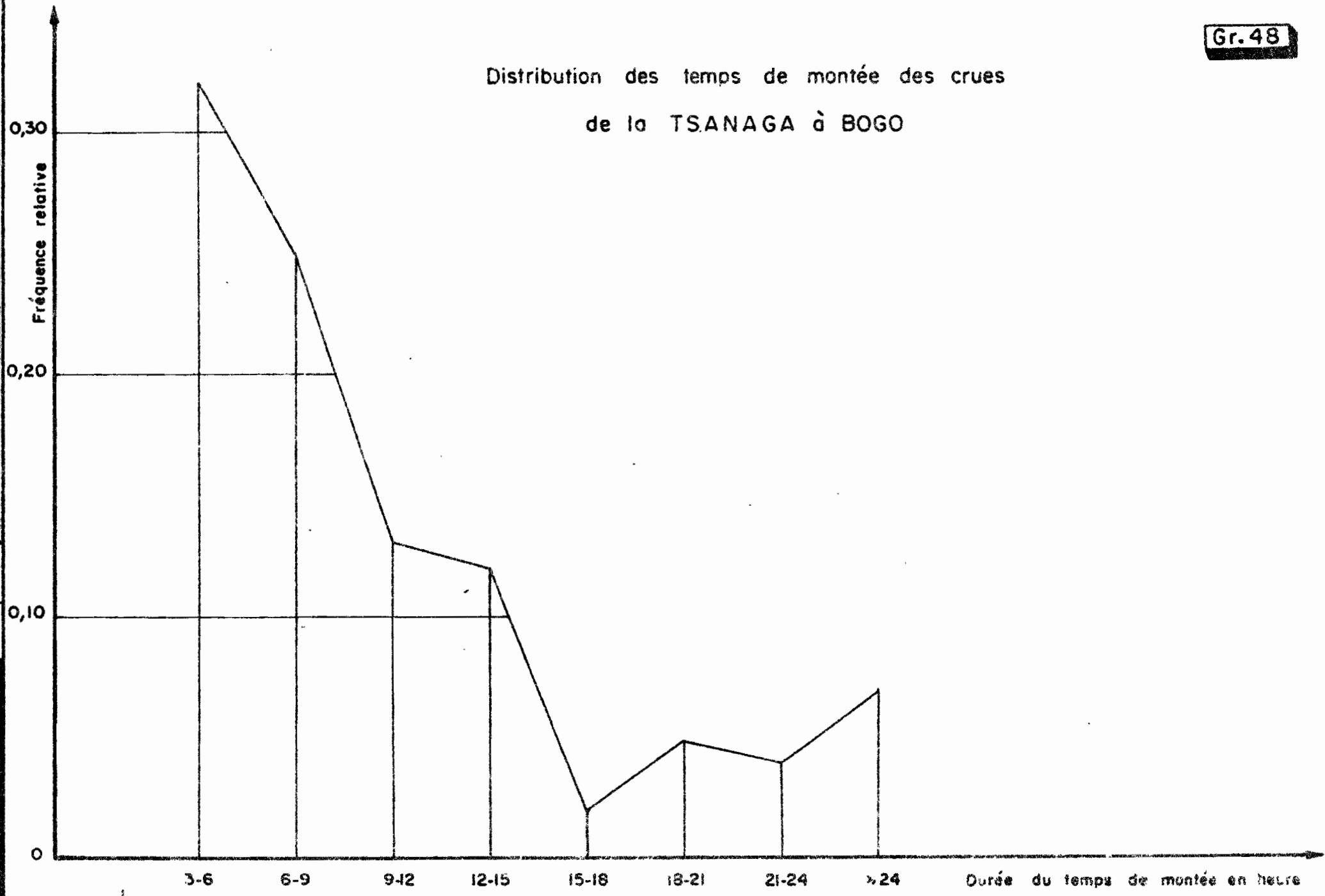
Le graphique 51 donne les distributions statistiques des temps de propagation. Comme les précédentes (temps de montée et de base) ces distributions

Distribution des temps de montée des
crues de la TSANAGA
et du KALLIAO à MAROUA



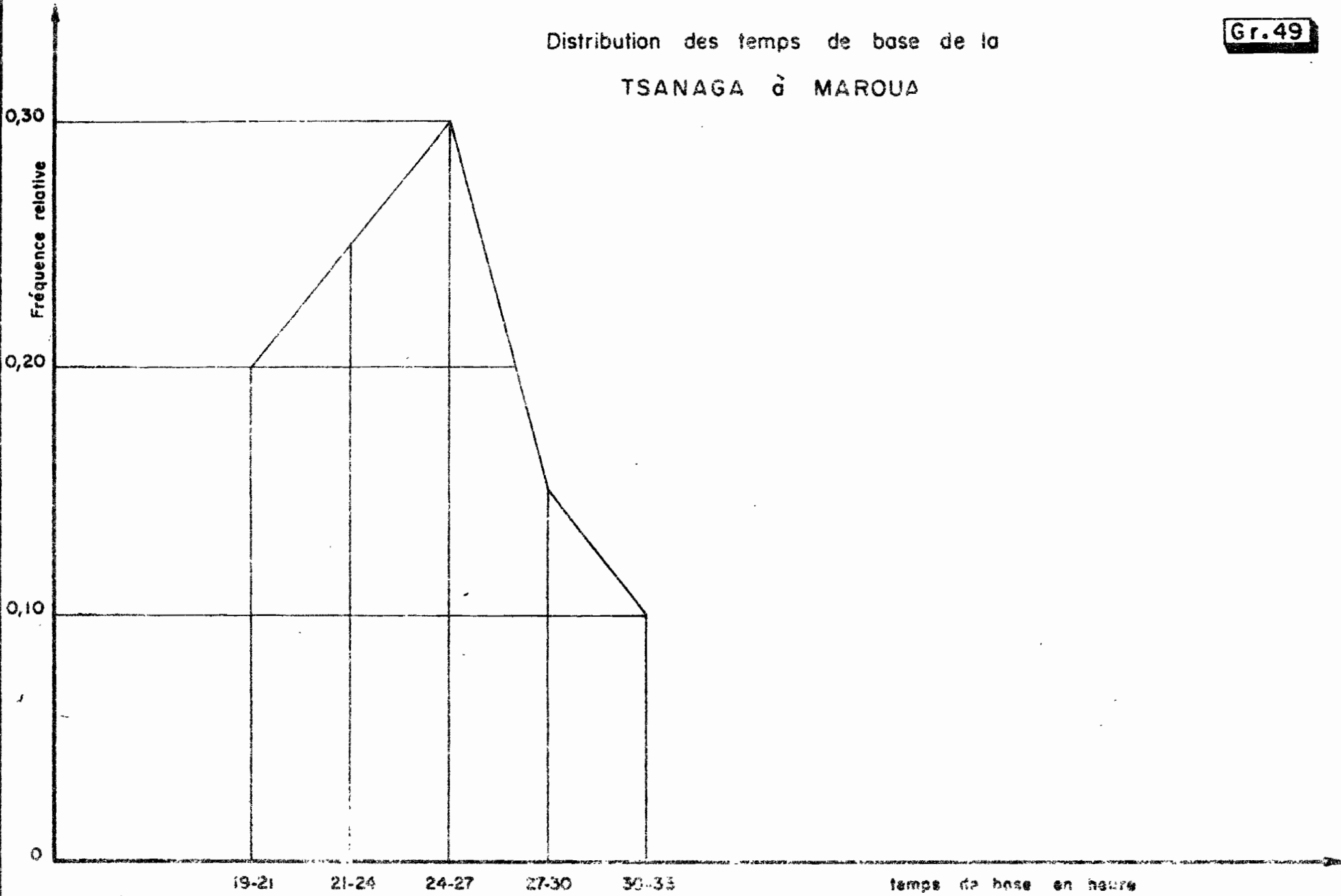
Durée du temps de montée en heure

Distribution des temps de montée des crues
de la TSANAGA à BOGO

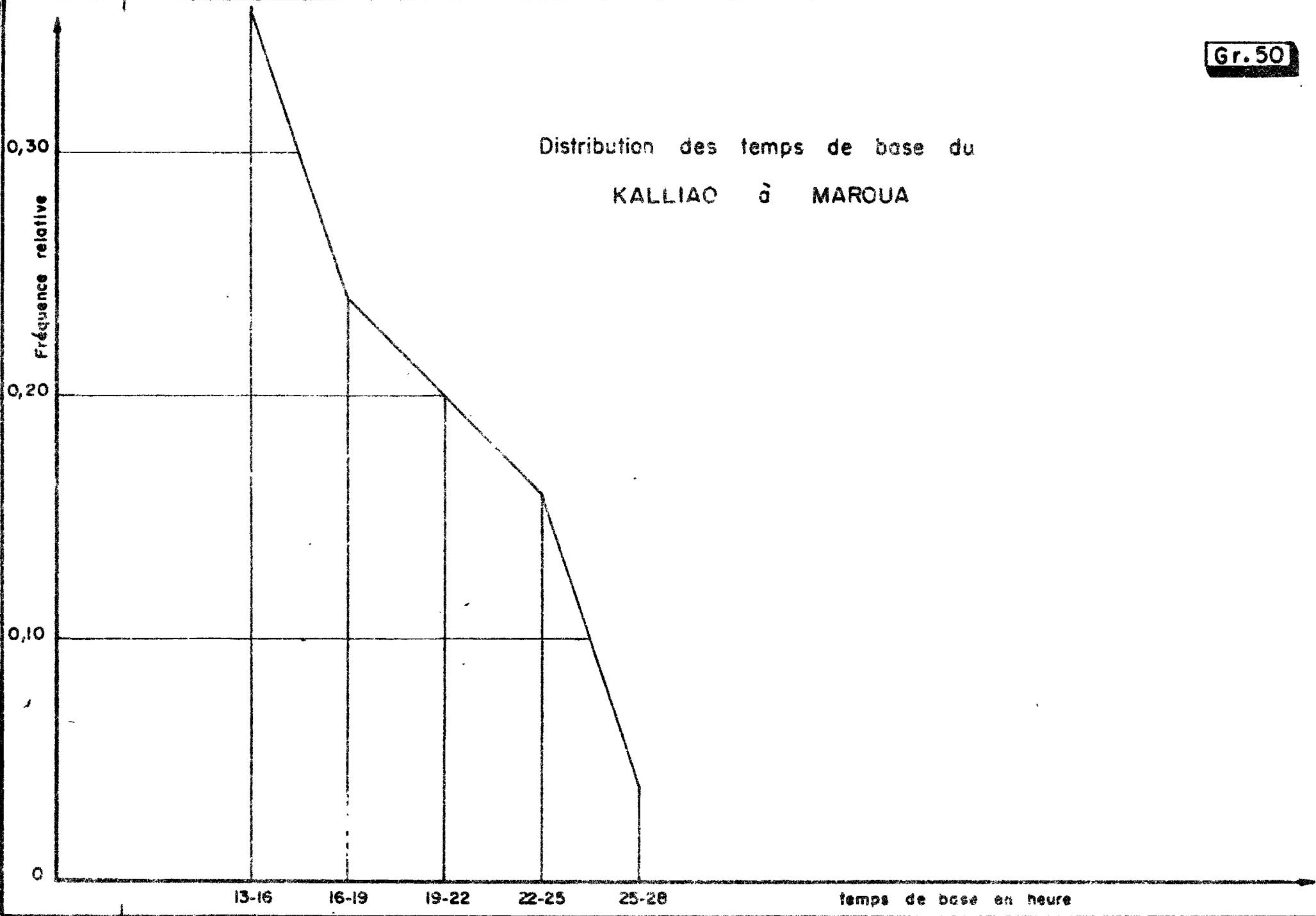


date
des.

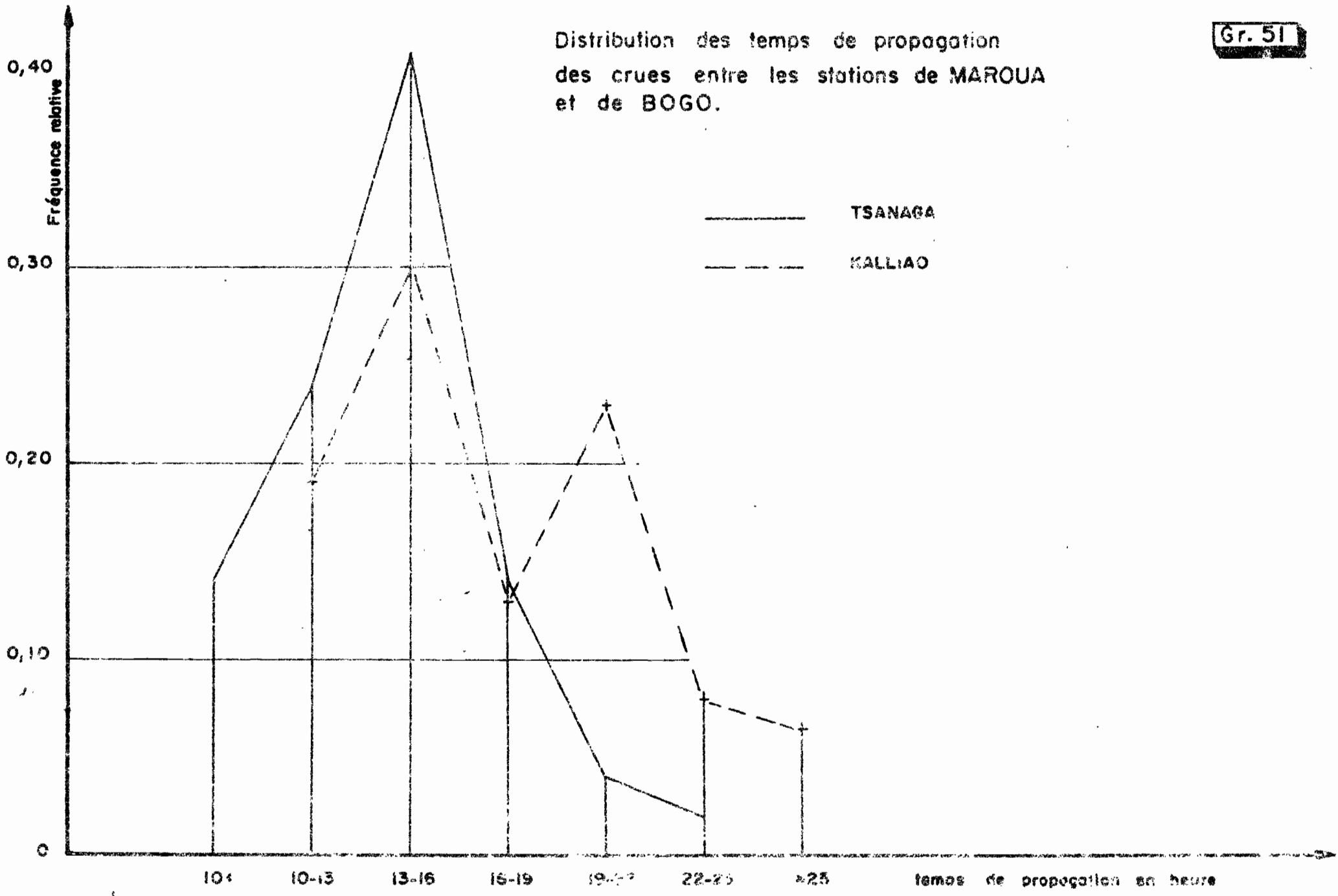
Distribution des temps de base de la
TSANAGA à MAROUA



Distribution des temps de base du
KALLIAO à MAROUA



Distribution des temps de propagation des crues entre les stations de MAROUA et de BOGO.



sont asymétriques la prise en compte des crues complexes étirant les courbes de distributions vers les temps très longs. Toutefois, la courbe du KALLIAO suggère une répartition bimodale, qui s'explique par le fait que d'une manière générale les crues du KALLIAO précédentes de quelques heures (5 à 7 heures en moyenne) celles de la TSANAGA. La deuxième pointe ne correspond donc pas à proprement parler au temps de propagation entre MAROUA (KALLIAO) et BOGO, mais au temps de propagation entre MAROUA (TSANAGA) et BOGO, ajouté au temps séparant les maximums observés sur la TSANAGA et le KALLIAO à MAROUA.

Sur le graphique 52 nous avons schématisé les différents cas susceptibles d'être observés :

(1) (2) et (3) qui devraient permettre une bonne estimation du temps de propagation sont observés assez rarement

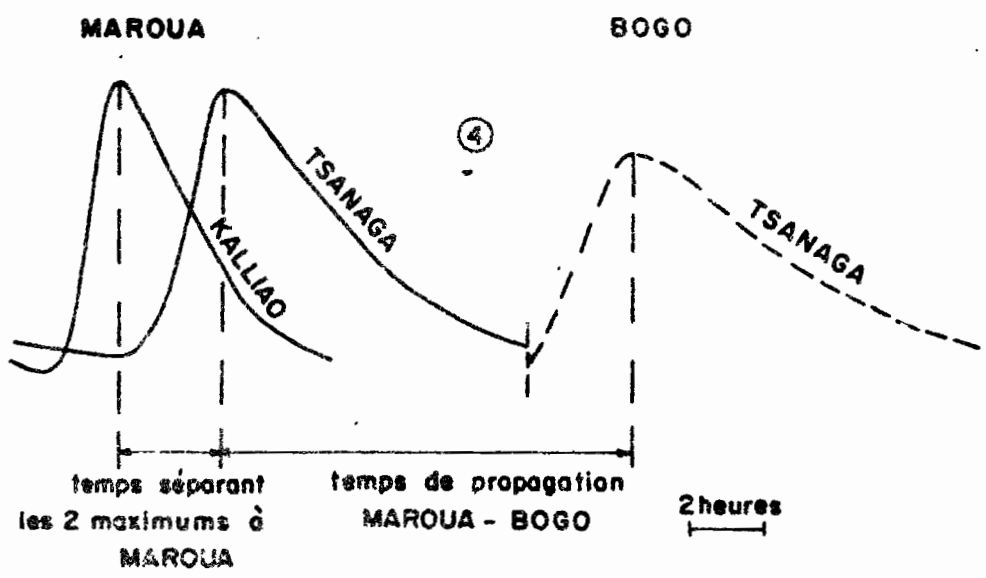
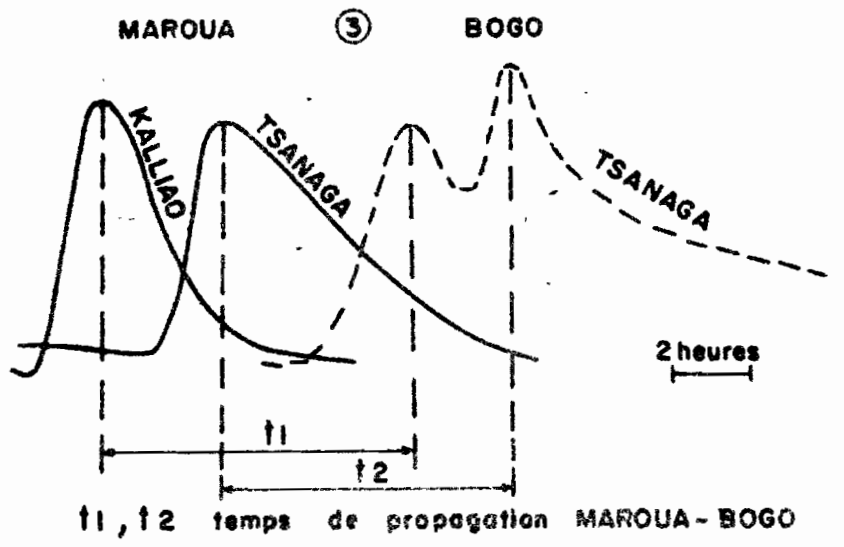
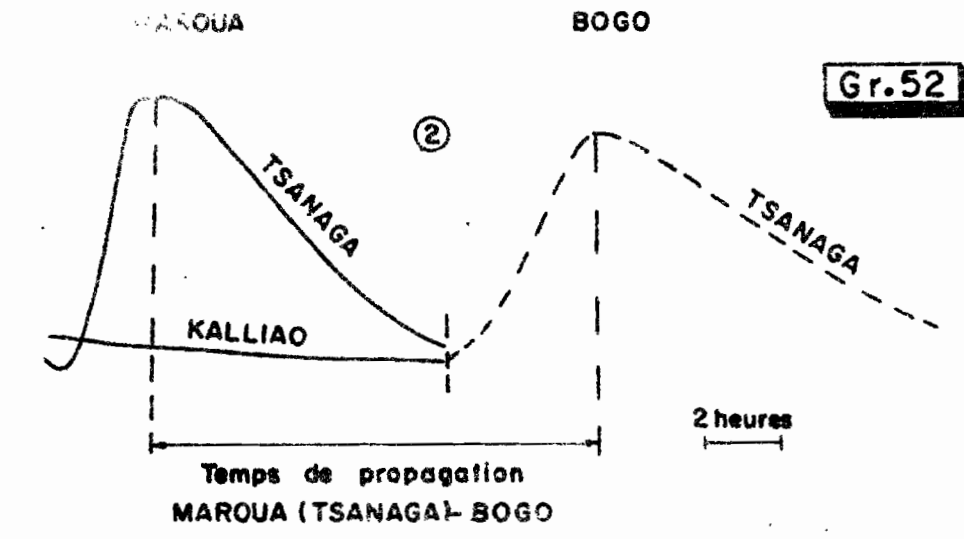
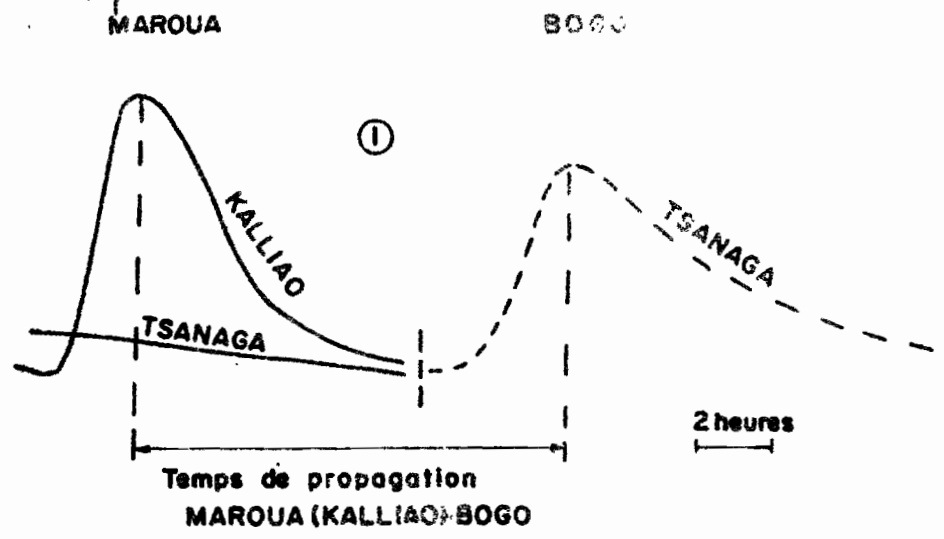
(4) est le cas le plus fréquent; ce qui explique la distribution des temps de propagation entre MAROUA (KALLIAO) et BOGO.

Intuitivement, on pressent que ces temps de propagation sont liés également aux débits observés. Nous avons ainsi porté sur les graphiques 53 et 54 les temps de propagation en fonction des débits maximums observés à BOGO.

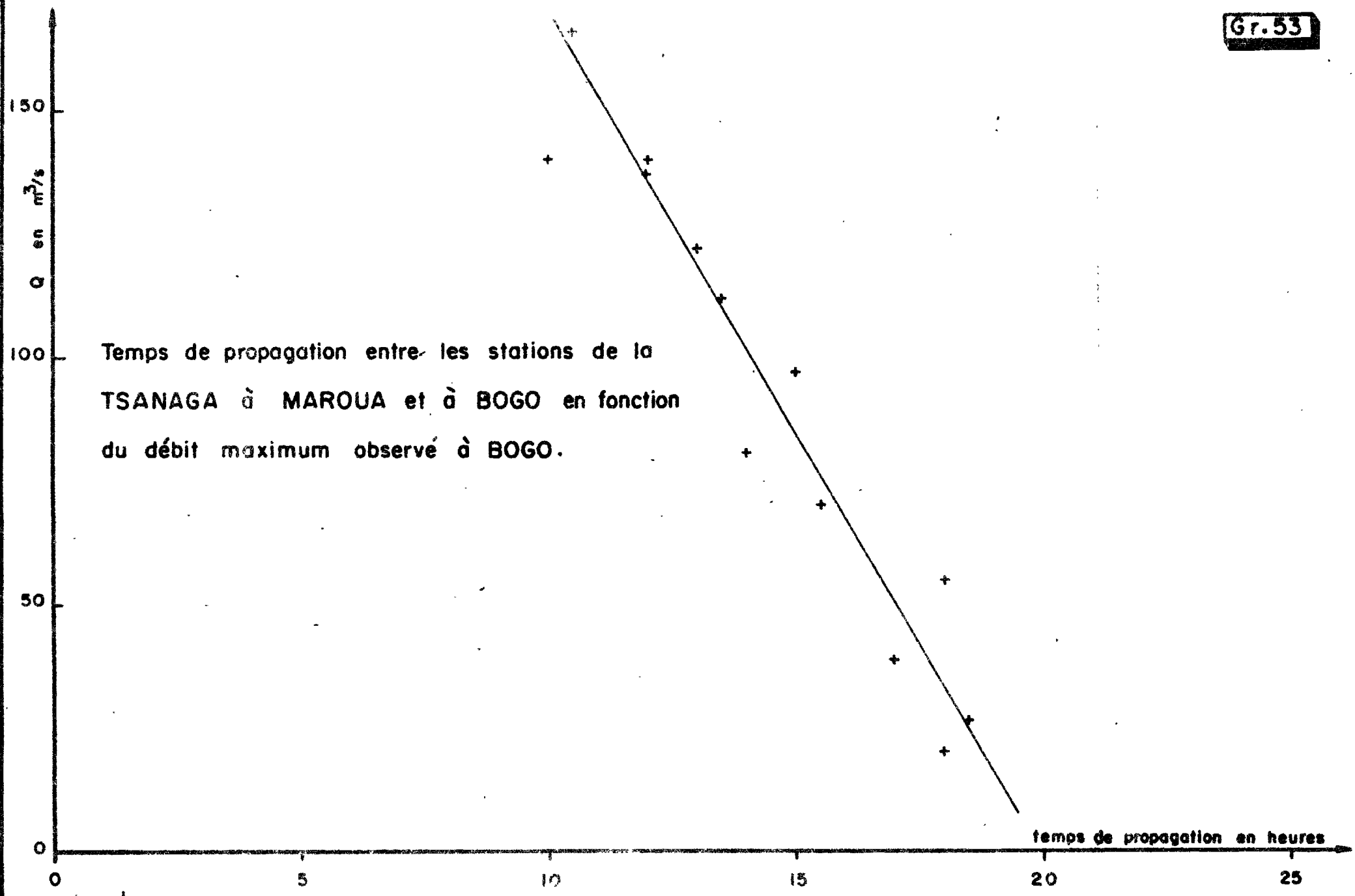
Pour fixer les idées nous avons calculé les vitesses moyennes de propagation correspondant à des temps donnés :

<u>temps de propagation</u>	<u>vitesse moyenne de propagation</u>
10 h (débit à BOGO généralement supérieur à 200 m ³ /s)	1,350 m/s
15 h (débit à BOGO un peu inférieur à 100 m ³ /s)	0,850 m/s
20 h (débit à BOGO de quelques dizaines de m ³ /s).	0,625 m/s

Ces vitesses sont tout à fait comparables à celles calculées au cours des mesures de débits.



BASSIN DE LA TSANAGA
Temps de propagation



BASSIN DE LA TSANAGA
Temps de propagation entre les stations
du KALLIAO à MAROUA et de la TSANAGA
BOGO en fonction du débit maximum à
BOGO.

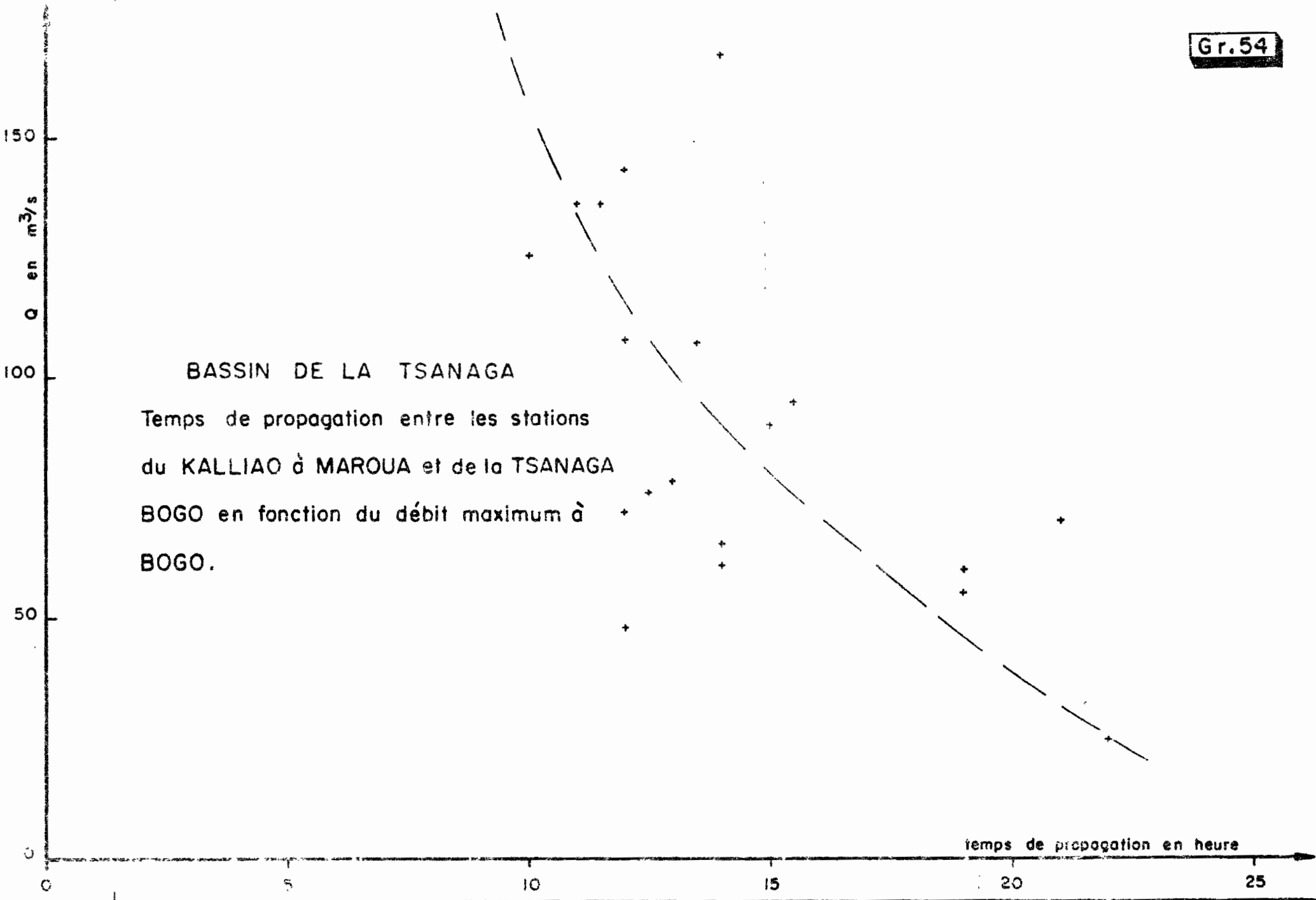


TABLEAU XXI

Temps caractéristiques des principales crues.
1966

GAZAWA				TSANAGA - MAROUA				KALLIAO - MAROUA				TSANAGA - BOGO					
date	heure du max	Temps de montée	"	date	heure du max	Temps de montée	"	date	heure du max	Temps de montée	écart avec TSANAGA	"	date	heure du max	Temps de montée	Temps de pro- ga.(2)	Temps de pro- propa(3)
			"	31.7	20.30	7.00	"	31.7	11.05	6.00	- 9.25	"					
10.8	9.30	07.00	"	10.8	15.30	6.30	6.00	10.8	12.00	4.00	- 3.30	"	11.8	01.00	5.30	9.30	13.00
14.8	01.00	-	"	14.8	06.00	8.00	5.00	13.8	18.10	3.30	-11.50	"	14.8	08.30	6.00	2.30	14.20
25.8	10.00	-	"	25.8	15.20	-	5.20	25.8	06.00	3.00	- 9.20	"	25.8	20.00	7.00	4.40	14.00
4.9	02.30	3.20	"	4.9	06.50	2.20	4.20	4.9	07.35	4.00	+ 0.45	"	4.9	21.40	5.00	14.50	14.05
9.9	22.10	4.00	"	10.9	02.30	2.30	4.20	10.9	04.00	2.30	- 1.30	"	10.9	18.30	4.00	16.00	14.30
18.9	13.00	-	"	18.9	19.00	-	6.00	18.9	05.30	3.30	+13.30	"	18.9	18.00	4.30		12.30
			"									"	19.9	06.00		11.00	
26.9	21.00	6.00	"	27.9	01.00	5.00	4.00	26.9	18.00	2.10	+ 7.00	"	27.9	16.30	7.30	15.30	21.30
1967																	
			"	13.7	14.00	9.30	-	13.7	11.00	1.30	- 3.00	"	14.7	6.00	8.00	16.00	19.00
			"	15.7	13.00	7.00	-	15.7	6.00	14.00	- 7.00	"	16.7	3.00	4.30	14.00	21.00
			"	19.7	0.00	5.00	-	19.7	5.00	3.30	- 3.00	"	19.7	18.00	5.30	10.00	23.00
			"	23.7	2.00	6.00	-	22.7	19.00	1.45	- 7.00	"	23.7	14.00	8.45	12.00	19.00
			"	24.7	8.30	2.00	-	23.7	23.30	1.45	- 9.00	"	24.7	21.00	5.00	12.30	21.30
			"	29.7	11.00	8.00	-	29.7	7.00	2.15	- 4.00	"	29.7	24.00	6.30	13.00	17.00
			"	29.7	23.00	2.30	-	29.7	22.30	1.00	- 0.30	"	30.7	12.00	4.40	13.00	13.30
			"	5.8	22.00	7.00	-					"	6.8	15.00	5.00	17.00	
			"	7.8	8.00	6.30	-	7.8	3.00	5.30	- 5.00	"	7.8	22.00	10.00	14.00	19.00
			"	8.8	14.00	3.30	-	8.8	11.00	3.00	- 3.00	"	8.8	24.00	15.00	10.00	13.00
			"	20.8	23.00	2.15	-	20.8	19.00	4.00	- 4.00	"	21.8	12.00	7.30	13.00	17.00
			"					24.8	15.30	2.30		"	25.8	5.00	4.15		13.30
			"	25.8	0.00	3.00	-					"	25.8	14.00	4.00	10.00	
			"	27.8	16.00	8.00	-	27.8	13.00	6.00	- 3.00	"	28.8	15.00	37.00	23.00	26.00
			"	30.8	2.00	3.00	-	29.8	19.00	2.30	- 7.00	"	30.8	10.00	8.30	8.00	15.00
			"	31.8	20.00	7.00	-	31.8	14.00	5.00	- 6.00	"	1.9	16.00	36.00	20.00	26.00
			"	7.9	6.00	5.00	-	6.9	23.00	2.00	- 7.00	"	7.9	19.00	14.00	13.00	20.00
			"	12.9	17.00	10.30	-	12.9	13.00	5.00	- 4.00	"	13.9	1.00	14.00	8.00	12.00
			"	14.9	3.00	4.00	-	13.9	21.00	3.00	- 6.00	"	14.9	16.00	12.00	13.00	19.00

TABLEAU XXI (suite)
1968

TSANAGA - MAROUA			KALLIAO - MAROUA				TSANAGA - BOGO				
date	heure du max.	temps de montée	date	heure du max.	temps de montée	écart avec TSANAGA	date	heure du max.	temps de montée	temps de pro-pa. (2)	temps de propa. (3)
			" 2.7	21.15	1.30	"	" 3.7	19.00	6.00		21.45
6.7	7.00	2.00	" 6.7	6.20	6.00	- 0.40"	" 7.7	1.00	5.00	18.00	19.00
			" 10.7	18.00	2.00	"	" 11.7	9.00	6.00		15.00
13.7	5.00	5.00	" 13.7	1.00	3.00	- 4.00"	" 13.7	15.00	8.00	10.00	14.00
20.7	3.00	2.00	" 20.7	0.00	5.00	- 3.00"	" 20.7	14.00	6.00	11.00	14.00
			" 25.7	17.30	4.30	"	" 26.7	5.30	4.30		12.00
23.8	18.00	9.00	" 23.8	15.00	7.00	- 3.00"	" 24.8	8.00	20.00	14.00	17.00
25.8	16.30	4.00	" 25.8	10.00	5.00	- 6.30"	" 26.8	9.00	23.00	16.30	23.00
29.8	11.00	3.00	" 29.8	3.00	4.00	- 8.00"	" 29.8	(15.00		12.00	12.00
			"			"	"	(23.00			
11.9	10.00	4.00	" 11.9	5.30	6.00	- 4.30"	" 11.9	19.00	6.00	9.00	13.30

1969

16.6	15.00	7.00	" 16.6	6.00	2.00	- 9.00"	" 17.6	9.00	3.00	18.00	27.00
20.6	4.30	2.30	" 20.6	3.30	1.30	- 1.00"	" 20.6	23.00	5.00	18.30	19.30
23.6	2.00	14.00	" 22.6	22.00	2.30	- 4.00"	" 23.6	10.00	19.00	8.00	12.00
14.7	2.00	3.30	" 14.7	1.00	2.00	- 1.00"	" 14.7	15.00	10.00	13.00	14.00
25.7	4.30	2.15	" 25.7	0.00	2.00	- 4.30"	" 25.7	20.00	11.00	15.30	20.00
26.7	11.00	7.30	" 26.7	9.30	6.30	- 1.30"	" 27.7	2.00	12.00	15.00	16.30
3.8	9.00	9.00	" 3.8	5.30	4.00	- 3.30"	" 3.8	23.30	13.30	14.30	18.00
16.8	15.30	5.30	" 16.8			"	" 17.8	2.00	14.00	10.30	
26.8	13.00	11.00	" 26.8	8.00	7.00	- 5.00"	" 27.8	2.00	12.00	13.00	18.00
4.9	23.00	8.00	" 4.9	15.30	5.00	- 9.30"	" 5.9	12.00	30.00	13.00	22.30
20.9	5.30	4.00	" 20.9	4.00	3.00	- 1.30"	" 20.9	17.00	5.00	14.30	13.00

1970

			" 22.7	20.00	4.00	"	" 23.7	6.00	18.00		10.00
			" 29.7	16.30	1.30	"	" 30.7	4.00	9.00		11.30
31.7	20.00	1.30	" 31.7	19.00	-	- 1.00"	" 1.8	11.00	4.00	15.00	16.00
			" 4.8	7.00	6.00	"	" 4.8	18.00	11.00		11.00
			" 22.8	21.00	1.30	"	" 23.8	9.00	9.00		12.00
23.8	11.00	5.00	"			"	" 23.8	23.30	5.00	11.30	
24.8	3.30	8.00	"			"	" 24.8	16.00	8.00	12.30	
			" 25.8	16.30	4.00	"	" 26.8	4.00			11.30
27.8	20.45	3.00	" 27.8	15.00	2.30	- 5.45"	" 28.8	16.00	28.00	19.15	25.00
30.8	9.00	3.00	" 30.8	9.00	6.30	- 0.00"	" 30.8	24.00	10.00	15.00	15.00
18.9	16.30	13.00	" 18.8	9.00	10.45	- 7.30"	" 19.9	8.00	22.00	15.30	23.00

(1) Entre GAZAWA et MAROUA - (2) Entre BOGO et MAROUA (TSANAGA) - (3) Entre BOGO et MAROUA (KALLIAO).

3.1.4.2. Amortissement des crues.

Nous définissons l'amortissement des crues entre MAROUA et BOGO par le rapport liant le débit maximal observé à BOGO et le débit maximal observé sur la TSANAGA ou le KALLIAO à MAROUA.

Nous avons ainsi regroupé dans le tableau XXII les débits maximums observés aux trois stations ainsi que le rapport $C_a = 100 \times \frac{Q_{\text{BOGO}}}{Q_{\text{MAROUA}}}$, Q_{MAROUA} étant le plus fort débit observé soit sur la TSANAGA, soit sur le KALLIAO. Les caractéristiques statistiques : moyenne, médiane, écart type et coefficient de variation sont les suivants :

Pour la TSANAGA :				
$\bar{C}_a = 78$	$C_a (Me) = 82$	$\sigma = 26$	$C_v = 0,333$	
Pour le KALLIAO :				
$\bar{C}_a = 92$	$C_a (Me) = 87$	$\sigma = 32$	$C_v = 0,348$	

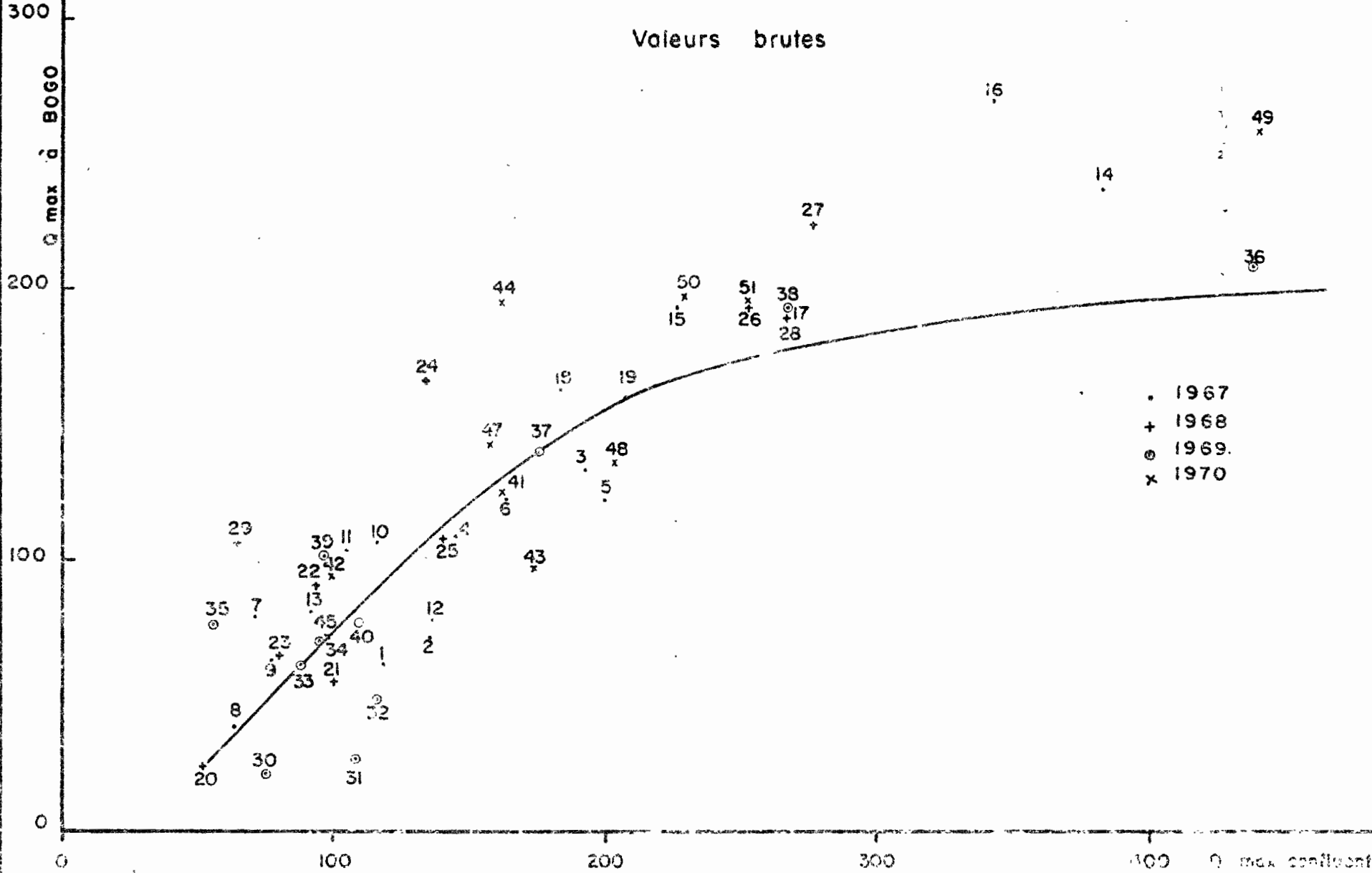
Afin de préciser l'évolution des crues à l'aval de MAROUA, nous avons estimé pour chaque crue étudiée le débit de pointe immédiatement à l'aval du confluent de la TSANAGA et du KALLIAO. Pour cela, nous avons admis, qu'en portant des deux stations de MAROUA à la même heure, l'onde de crue du KALLIAO arrive au confluent environ une heure avant celle de la TSANAGA.

Pour calculer les coefficients d'amortissement du tableau XXII nous avons pris le plus fort débit de pointe reconstitué : Q_1 lorsque le plus fort débit est observé sur la TSANAGA, Q_2 lorsqu'il est observé sur le KALLIAO.

Nous avons porté sur le graphique 55, pour chaque crue, le débit maximum susceptible d'être observé au confluent, en fonction du débit maximum enregistré à BOGO et tracé une courbe moyenne des débits de pointe à BOGO.

Les écarts à cette courbe ont été étudiés graphiquement suivant le débit de base (Q_0) observé à BOGO juste avant la crue (graphique 56), ce débit de base étant fonction de la saison, très faible en Juillet et maximum en Septembre.

Liaison entre le Q max à BOGO et le Q max estimé au confluent : TSANAGA - KALLIAO
Valeurs brutes



date
des.

Correction Qo à BOGO

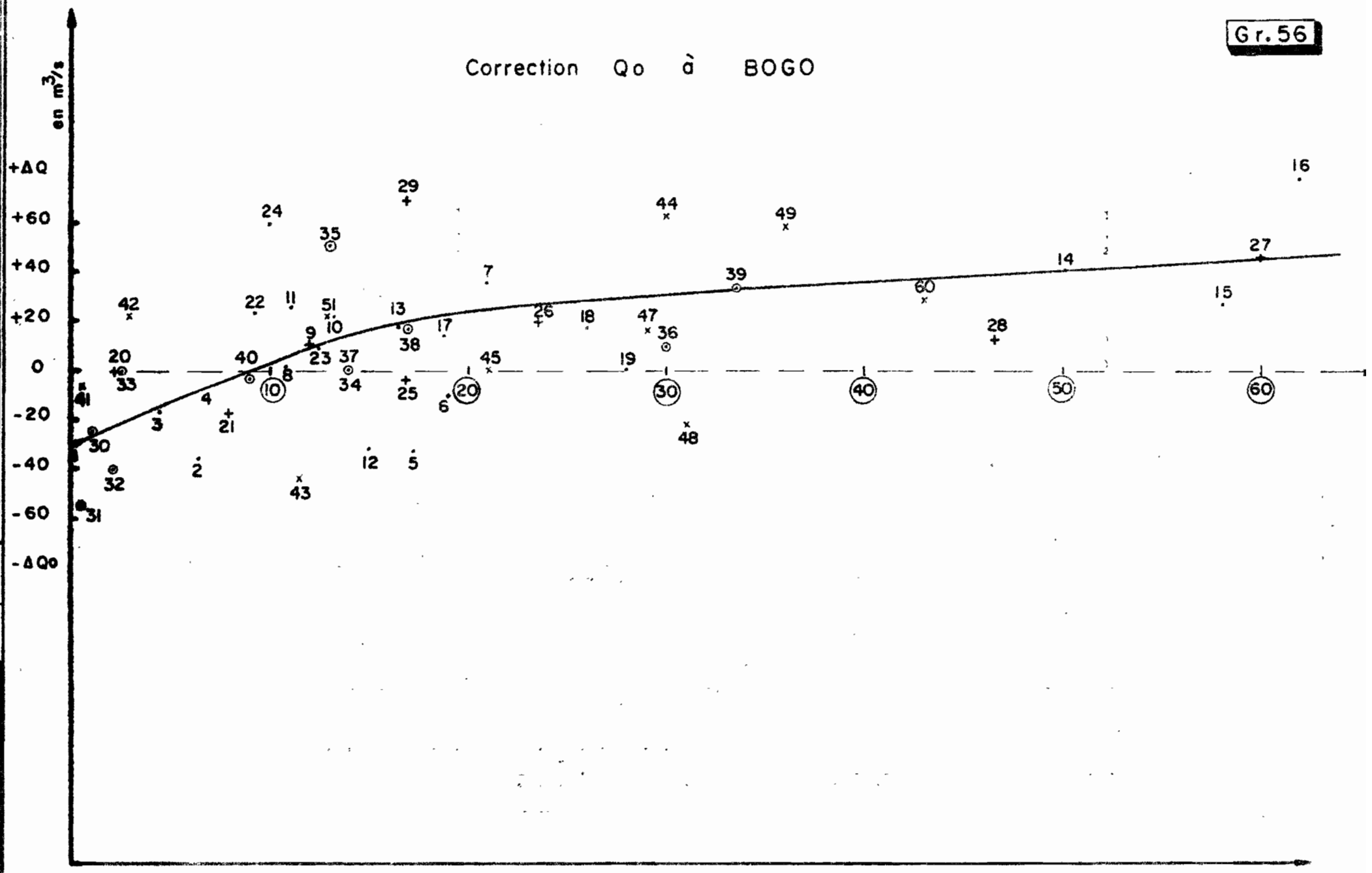


TABLEAU XXII
Amortissement des crues
1966

Date	Q max BOGO m ³ /s	TSANAGA - MAROUA		KALLIAO - MAROUA	
		Q max m ³ /s	100 x $\frac{Q \text{ BOGO}}{Q \text{ MAROUA}}$	Q max m ³ /s	100 x $\frac{Q \text{ BOGO}}{Q \text{ MAROUA}}$
10.8	118	67,9		182	65
14.15.8	65,5	51,8		99,7	66
25.8	75,0	54,7		99,7	75
4.9	112	178	63	19,2	
9.9	56	89,5	63	7,9	
18.9	109	47,4		125	87
26.9	66,9	92,2	73	29,7	
1967					
13.14.7	60,3	110	55	20,0	
15.16.7	70,5	131	54	7,08	
19.7	134	156		160	84
22.23.7	109	128	85	77,6	
23.24.7	122	189	65	44,5	
29.7	122	156	78	23,7	
29.30.7	79,4	60,0	132	14,4	
5.6.8	39,4	63,5	62		
7.8	63,0	71,5	88	24,3	
8.8	107	67,5		78,0	137
20.21.8	104	73,5	141	59,4	
24.25.8	77,7			112	31
25.8	81,1	77,5	105		
27.28.8	237	313	76	186	
30.8	194	119		183	106
31.8.1.9	270	198		217	124
6.7.9	191	137		141	135
12.13.9	163	60,0		147	111
13.14.9	160	189	85	63,0	
1968					
3.7	24,4	8,2		50,6	48
6.7	55,0	100	55		
11.7	90,6	41,6		89,0	100
13.7	65	25,0		78,2	83
20.7	167	177	94	123	
25.7	108	50,3		132	82
23.8	194	219	89	97,4	
25.8	225	245	92	209	
29.8	190	137		252	71
11.9	107	41,6		99,2	170
1969					
16.6	20,7	65,5	32	23,9	
20.6	26,5	77,5	34	50,1	
23.6	49,0	36,0		97,0	51
14.7	61,0	63,8	95	50,6	
25.7	70,0	77,5	90	33,4	
26.7	76,0	39,5		41,0	185
3.8	208	169		330	63
16.8	140	166	84	7,7	
26.8	194	235	82	59,9	
4.9	102	62,8		78,0	131
19.9	77,7	48,9		89,4	87

1970

23.7	125	17,4		160	78
30.7	95	40,5		92	103
31.7	97	155	63	21,2	
4.8	195			148	132
22.8	72			73	99
23.8	112	134	84		
24.8	143	142	101		
25.8	136			82	166
27.8	258	149		389	66
30.8	198	177		52	89
19.9	196	227		86	86

TABLEAU XXIII
Amortissement des crues
1967

Date	Q max. à BOGO m ³ /s	Q ₁ m ³ /s	Q ₂ m ³ /s	Coefficient d'amortissement	Q ₀ à BOGO m ³ /s
13.14.7	60,3	118		51	0,12
15.16.7	70,5	135		52	6,4
19.7	134	192		70	4,3
22.23.7	109	144		76	6,8
23.24.7	122	199		61	17,1
29.7	122	163		75	19,0
29.30.7	79,4	70,4		113	21,1
5.6.8	39,6	63,5		62	10,8
7.8	63,0	76,7		82	12,0
8.8	107		115	93	13,1
20.21.8	104	104		100	11,0
24.25.8	77,7		136	57	15,2
25.8	81	91		89	16,5
27.28.8	237	382		62	50,0
30.8	194		226	86	58,1
31.8-1.9	270		342	79	62,0
6.7.9	191	266		72	18,8
12.13.9	163		183	89	26,0
13.14.9	160	207		77	28,1

1968

3.7	24,4		50,6	48	2,2
6.7	55,0	1,0		55	7,8
11.7	90,6		93	97	9,2
13.7	65,0		80	81	12,0
20.7	167		133	126	10,0
25.7	108		140	77	16,9
23.8	194	252		77	23,6
25.8	225	276		81	60,0
29.8	190		267	71	46,6
11.9	107		64	167	16,9

1969

16.6	20,7	74,7		28	1,0
20.6	26,5	108		25	0,5
23.6	49,0		116	42	1,8
14.7	61,0	86,6		70	2,5
25.7	70,0	94,4		74	14,0
26.7	76,0		55,7	137	13,0
3.8	208		438	48	30,1
16.8	140	175		80	14,0
26.8	194	265		73	17,2
4.9	102		96,3	106	33,5
19.9	77,7		109	71	9,0

Q₁ ou Q₂ : débit maximum observé au confluent TSANAGA-KALLIAO

(Q₁ : Q max de la TSANAGA à MAROUA

+ Q du KALLIAO une heure après

(Q₂ : Q max du KALLIAO + Q de la TSANAGA à MAROUA une heure avant

Q₀ : débit de base observé à BOGO avant la crue.

1970

23.7	125		161	78	0,5
30.7	95		99	96	0,9
31.7	97	173		56	11,5
4.8	195		161	121	30,0
22.8	72		97	74	21,1
23.8	112				26,2
24.8	143	157		91	29,0
25.8	136		203	67	31,1
27.8	258		440	59	36,0
30.8	198	229		87	43,0
19.9	196	252		78	13,0

Les débits maximums corrigés sont portés sur le graphique 57 où la courbe moyenne tracée correspond à un débit de base à BOGO de $9\text{m}^3/\text{s}$.

Nous pouvons noter que 65 % des points se situent dans l'intervalle + ou - 10 %.

En première approximation nous pouvons considérer que la courbe moyenne peut être assimilée à deux demi-droites d'équation :

$$Y = 0,64X + 9; \text{ en } \text{m}^3/\text{s}$$

$$Y = 0,20X + 123; \text{ en } \text{m}^3/\text{s}$$

X étant le débit maximal observé au confluent

Y " " " " observé à BOGO.

Le changement de pente se faisant très rapidement entre les débits 160 et $180 \text{m}^3/\text{s}$ à BOGO.

Le laminage est donc maximum pour les crues supérieures à $300 \text{m}^3/\text{s}$ au confluent. Ainsi, une crue de $400 \text{m}^3/\text{s}$ survenant en Juillet ne donnera à BOGO qu'un débit de pointe de $180 \text{m}^3/\text{s}$ soit un coefficient d'amortissement $C_a = 100 \times \frac{Q_{\text{BOGO}}}{Q} = 45 \%$. La même crue donnerait en Septembre, un débit de $240 \text{m}^3/\text{s}$, soit un C_a de 60 %. Pour des crues d'importance moyenne, voisines de $150 \text{m}^3/\text{s}$ par exemple nous aurions :

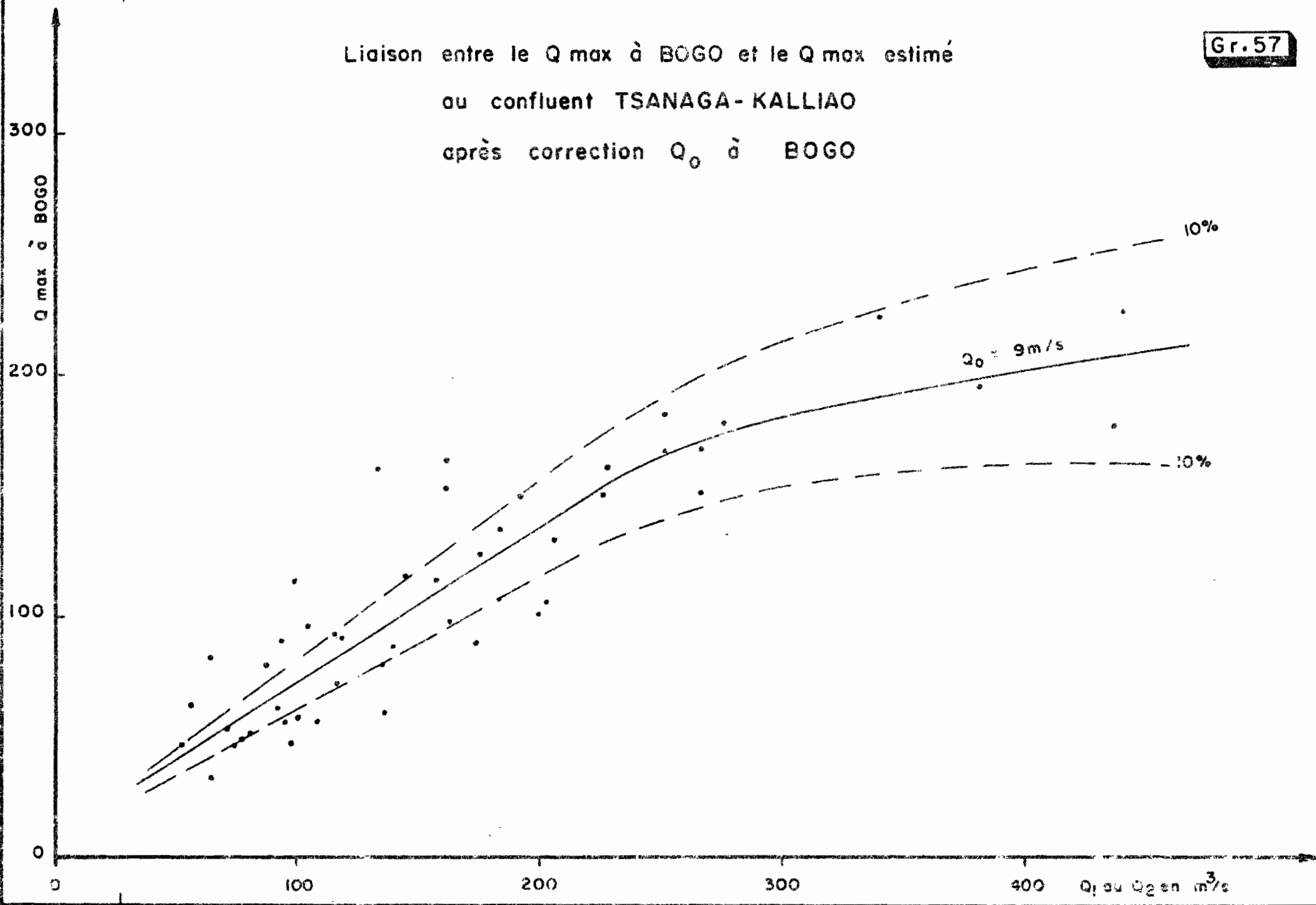
- En Juillet : $Q_{\text{BOGO}} = 80 \text{m}^3/\text{s}$; $C_a = 53 \%$.
- En Septembre : $Q_{\text{BOGO}} = 135 \text{m}^3/\text{s}$; $C_a = 90 \%$.

Ces quelques valeurs montrent bien l'importance des différents paramètres influant sur le comportement des crues entre MAROUA et BOGO, à savoir : les débits observés à MAROUA, mais également la saison.

3.2. LE TARISSEMENT.

Le tarissement d'une rivière est la décroissance des débits correspondant à la vidange des nappes en dehors de toute précipitation. L'étiage est ainsi conditionné par l'état de remplissage des nappes en fin de saison des pluies et par la loi de tarissement dont la forme analytique $Q = Q_0 e^{-\lambda(t - t_0)}$ (1) peut trouver, après un

Liaison entre le Q max à BOGO et le Q max estimé
au confluent TSANAGA-KALLIAO
après correction Q_0 à BOGO



certain nombre d'hypothèses très simplificatrices, une justification, dans l'application de la loi de DARCY.

Si des précipitations surviennent au cours de la vidange des réserves, suivant leur importance et leur intensité le tarissement pourra être perturbé et parfois même retardé.

L'étude des courbes de tarissement est facilitée par l'utilisation d'un diagramme semi-logarithmique (anamorphose):

La loi (1) peut également s'écrire :

$$\alpha = \frac{\text{Loge } \frac{Q_0}{Q}}{t - t_0} = \frac{\log_{10} \frac{Q_0}{Q}}{0,434 (t - t_0)}$$

Q_0 étant le débit à l'instant t_0 ,

t_0 instant où l'on commence à appliquer la loi de tarissement.

t , étant, en jour, le temps écoulé entre l'observation du débit Q_0 et celle du débit Q .

α a donc pour dimension T^{-1} ($\frac{1}{\alpha}$ sera ainsi exprimé en jour).

3.2.1. TSANAGA à MAROUA.

Le graphique 58 laisse apparaître une "cassure" plus ou moins tardive (généralement au cours de la deuxième quinzaine d'Octobre) dans le tarissement.

Suivant les années, il a été observé les coefficients suivants :

1966.

$\alpha_1 = 1,60 \quad \frac{1}{\alpha_1} = 2/3 \text{ jour} \quad \left(\frac{1}{\alpha_1} \text{ est le temps pour que le débit soit divisé par } e = 2,71828 \right).$

1968.

$\alpha_1 = 0,189 \quad \frac{1}{\alpha_1} = 5,3 \text{ jours}$

$\alpha_2 = 1,60 \quad \frac{1}{\alpha_2} = 2/3 \text{ jour}$

1969.

$$\alpha_1 = 0,190 \quad \frac{1}{\alpha_1} = 5,3 \text{ jours}$$

Le tarissement est perturbé par de nombreuses averses qui surviennent entre le 20 Octobre et le 2 Novembre.

$$\alpha_2 = 0,353 \quad \frac{1}{\alpha_2} = 2,9 \text{ jours}$$

1970.

$$\alpha_1 = 0,189 \quad \frac{1}{\alpha_1} = 5,3 \text{ jours}$$

$$\alpha_2 = 0,526 \quad \frac{1}{\alpha_2} = 1,9 \text{ jour}$$

Le tarissement est donc excessivement rapide, le débit pouvant décroître brutalement en 3 jours, de plusieurs centaines de litres à quelques litres seulement.

3.2.2. KALLIAO à MAROUA.

Nous notons sur le graphique 59 une cassure qui se situe généralement aux environs du 15 Octobre. (En 1969 le tarissement α , comme dans le bassin de la TSANAGA, été fortement perturbé par des pluies tardives).

1966.

$$\alpha_1 = 0,117 \quad \frac{1}{\alpha_1} = 8,5 \text{ jours}$$

$$\alpha_2 = 0,331 \quad \frac{1}{\alpha_2} = 3,0 \text{ jours}$$

1968.

$$\alpha_1 = 0,148 \quad \frac{1}{\alpha_1} = 6,8 \text{ jours}$$

$$\alpha_2 = 0,331 \quad \frac{1}{\alpha_2} = 3,0 \text{ jours}$$

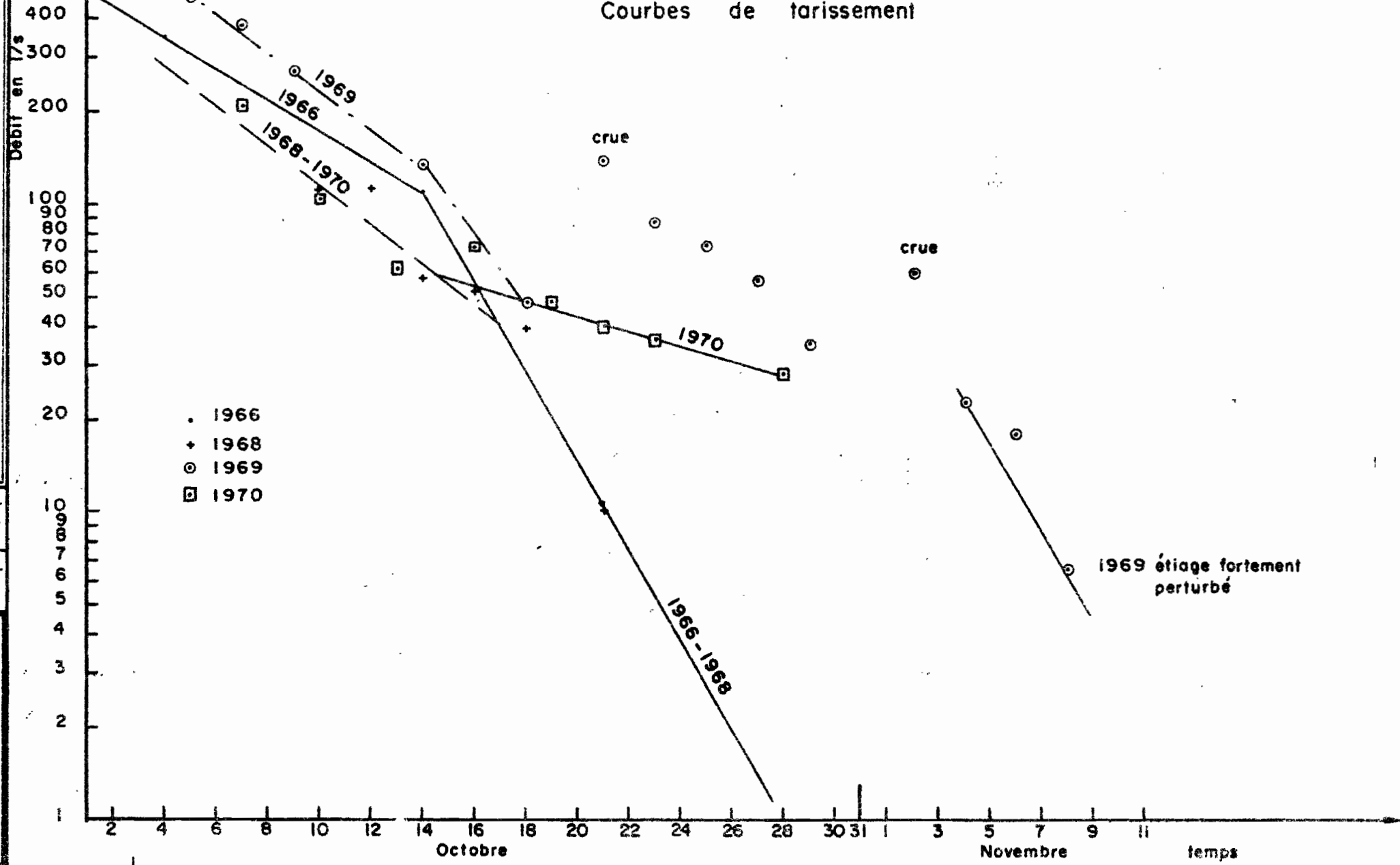
1969.

$$\alpha_1 = 0,144 \quad \frac{1}{\alpha_1} = 6,9 \text{ jours}$$

$$\alpha_2 = 0,284 \quad \frac{1}{\alpha_2} = 3,3 \text{ jours}$$

KALLIAO à MAROUA

Courbes de tarissement



1970.

L'année 1970 se singularise par le fait que la cassure observée ne correspond pas à une augmentation de la pente de la droite de tarissement, mais au contraire à une diminution. Il est fort probable qu'une deuxième cassure est apparue ultérieurement.

L'explication de ce phénomène est à rechercher dans l'hétérogénéité des sols et une répartition spatiale originale de la pluviosité.

$$\alpha 1 = 0,117 \quad \frac{1}{\alpha 1} = 8,5 \text{ jours}$$

$$\alpha 2 = 0,054 \quad \frac{1}{\alpha 2} = 18 \text{ jours}$$

Il est incontestable que le KALLIAO a un tarissement relativement plus long que la TSANAGA. Malgré un bassin versant près de deux fois et demi inférieur, plus de 7 jours sont nécessaires, dans les cas les plus favorables, pour passer d'un débit de 100 l/s à un débit de 10 l/s. Sur la TSANAGA une telle décroissance peut être observée en moins de 2 jours. Un comportement différent des nappes d'inféro-flux ne peut, seul, expliquer ces variations, les débits observés dans les alluvions des lits de ces mayos étant généralement inférieurs à 5 l/s. (voir chapitre 4.1.)

3.2.3. TSANAGA à BOGO.

Le graphique 60 donne les différentes courbes de tarissement observées.

1966.

$$\alpha 1 = 0,242 \quad \frac{1}{\alpha 1} = 4,1 \text{ jours}$$

$$\alpha 2 = 0,899 \quad \frac{1}{\alpha 2} = 1,1 \text{ jour}$$

1968.

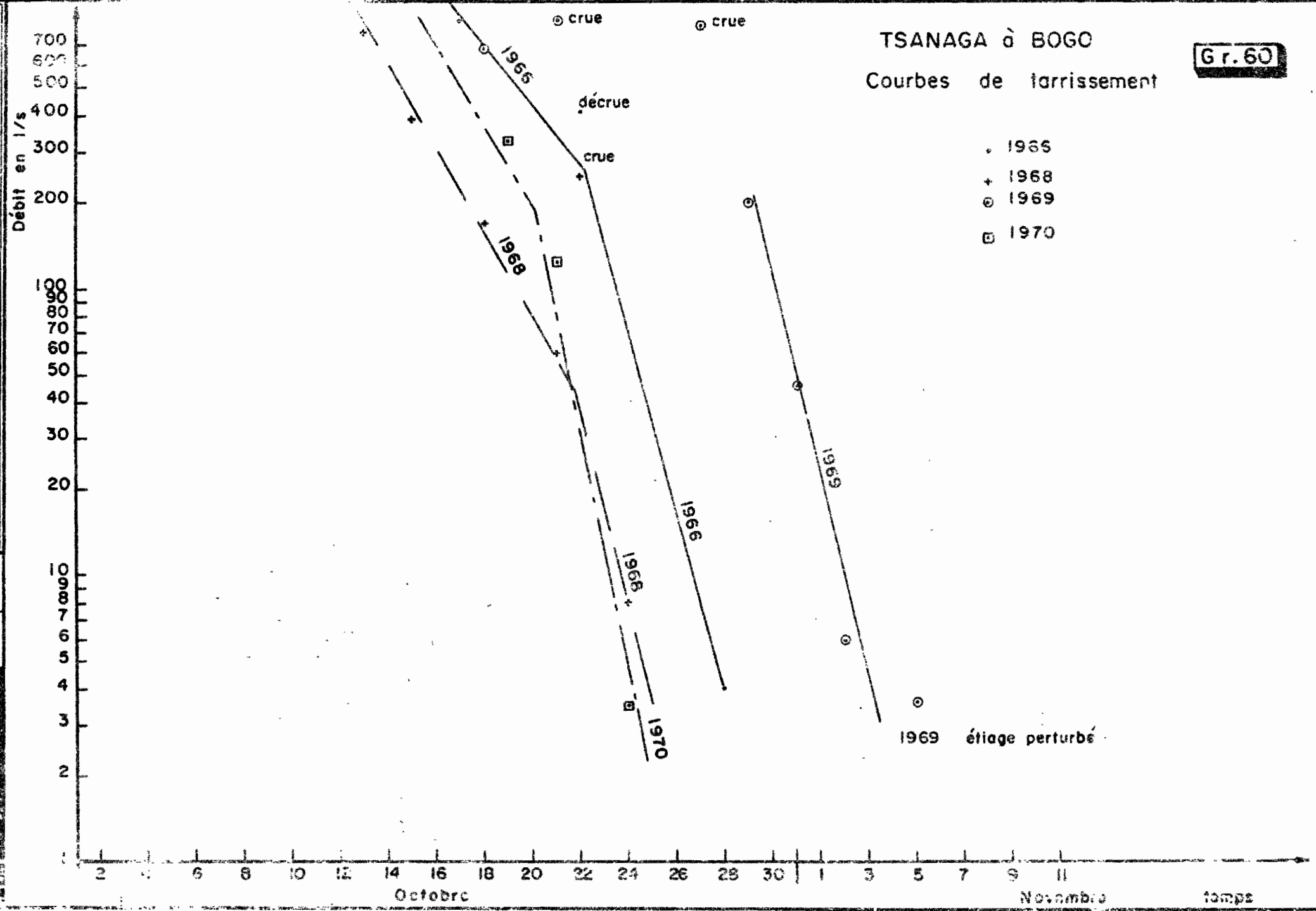
$$\alpha 1 = 0,340 \quad \frac{1}{\alpha 1} = 2,9 \text{ jours}$$

$$\alpha 2 = 0,766 \quad \frac{1}{\alpha 2} = 1,3 \text{ jour}$$

TSANAGA à BOGO

Gr. 60

Courbes de tarissement



1969.

Le tarissement a également été fortement perturbé par des averses tardives.

$$\alpha_2 = 0,808 \quad \frac{1}{\alpha_2} = 1,2 \text{ jour}$$

1970.

$$\alpha_1 = 0,340 \quad \frac{1}{\alpha_1} = 2,9 \text{ jours}$$

$$\alpha_2 = 0,924 \quad \frac{1}{\alpha_2} = 1,1 \text{ jour.}$$

Les tarissements des stations de la TSANAGA, BOGO et MAROUA sont tout à fait comparables, la décroissance étant tout de même un peu plus rapide à BOGO.

Dans tous les cas l'écoulement cesse quelques jours seulement, après la dernière averse ayant donné une variation plus ou moins sensible du niveau des eaux du mayo.

3.3. BILAN HYDROLOGIQUE.

3.3.1. Equation du bilan hydrologique.

L'équation du bilan hydrologique peut s'écrire de la manière suivante :

$$P = H + E + \Delta S$$

ou P est la hauteur d'eau précipitée

H la lame d'eau écoulée (ruissellement et écoulement sensus stricto)

E l'évapotranspiration au sens le plus large.

ΔS la variation des réserves des nappes souterraines et de l'humidité du sol (horizons non saturés).

Une équation simplifiée du type : $P = H + D$ peut également être adoptée. (D étant le déficit d'écoulement).

On peut admettre à l'échelle de l'année que les variations des réserves des nappes et de l'humidité du sol ne sont pas très importantes; elles sont tout à fait négligeables lorsqu'on dispose d'une longue période d'observations. Nous avons d'ailleurs pu noter (paragraphe 3.2.) que les courbes de tarissement varient relativement peu d'une année à l'autre et que la fin de l'écoulement se situe toujours entre la deuxième quinzaine d'Octobre et le début Novembre. Le déficit d'écoulement représente donc, essentiellement, les pertes par évapotranspiration.

Le tableau, ci-dessous, donne les principales caractéristiques du bilan, mesurées au cours des cinq années d'études.

Ces mêmes caractéristiques calculées sur la période 1953 - 1956 figurent au chapitre V.

TSANAGA à MAROUA

Année	Volume écoulé ($10^6 m^3$)	lame d'eau équivalente (mm)	Hauteur pluviométrique (mm)	Coefficient d'écoulement (%)	Déficit d'écoulement (mm)	Module annuel (m^3/s)	($l/s km^2$)
1966	165,8	196	856	23	660	5,3	6,3
1967	238,0	282	957	29	675	7,6	9,0
1968	208,0	246	885	28	639	6,6	7,8
1969	185,1	219	1075	20	856	5,9	7,0
1970	172,3	204	854	24	650	5,5	6,5

KALLIAO à MAROUA

1966	41,6	117	793	15	676	1,3	3,7
1967	72,7	205	735	28	530	2,3	6,5
1968	41,9	118	840	14	722	1,3	3,7
1969	51,5	145	960	15	815	1,6	4,5
1970	54,4	153	730	21	577	1,7	4,9

TSANAGA + KALLIAO à MAROUA

1966	207,4	173	837	21	664	6,6	5,5
1967	310,7	259	888	29	629	9,9	8,2
1968	249,9	208	870	24	662	7,9	6,6
1969	236,6	197	1040	19	843	7,5	6,2
1970	226,7	189	816	23	627	7,2	6,0

TSANAGA à BOGO

1966	219,9	143	828	17	685	7,0	4,5
1967	319,0	208	836	25	628	10,1	6,6
1968	255,4	166	823	20	657	8,1	5,3
1969	280,7	183	984	18	801	8,9	5,8
1970	283,7	184	793	23	609	9,0	5,9

Les moyennes inter-annuelles sont données, ci-dessous :

Année	Volume	lame	Hauteur	Coeffi-	Déficit	Module annuel	
	écoulé (10^6 m^3)	d'eau équiva- lente (mm)	pluvio- métrique (mm)	cient écoule- ment(%)	écoule- ment(mm)	m^3/s	l/s km^2
TSANAGA-MAROUA	193,8	229	925	25	696	6,2	7,3
KALLIAO-MAROUA	52,4	148	812	19	664	1,6	4,7
TSANAGA-KALLIAO	246,3	205	890	23	685	7,8	6,5
TSANAGA-BOGO	271,7	177	853	21	676	8,6	5,6

Les coefficients d'écoulement se situent entre 19 et 25 %, le plus fort coefficient étant observé à la station de MAROUA sur la TSANAGA, le plus faible sur le KALLIAO.

Les déficits d'écoulement varient relativement peu d'un bassin à l'autre, ce qui fait que nous pouvons estimer que l'évapotranspiration réelle doit se situer aux alentours de 680 mm/an pour l'ensemble de la région étudiée. Nous rappelons que nous avons évalué l'évapotranspiration potentielle à 1700 - 1800 mm/an (voir paragraphe 1.2.5.) soit un déficit proche de 1100 mm/an.

Contrairement à ce qu'avait laissé pressentir les études effectuées de 1953 à 1956, nous n'avons jamais observé une dégradation du volume écoulé annuellement entre MAROUA et BOGO. Le gain a été en moyenne 25 millions de m^3 avec un minimum de 6 millions de m^3 en 1968 et un maximum de 57 millions de m^3 en 1970. Des pertes importantes ne s'observent dans le lit de la TSANAGA qu'au début de la saison de pluies quand l'alimentation de la nappe phréatique par les talwegs est importante.

3.3.2. Corrélations hydro-pluviométriques :

3.3.2.1. Hauteurs pluviométriques annuelles.

Il est certain qu'étant donné le peu d'années d'observations dont nous disposons et les irrégularités inter-annuelles observées sous ces climats, les corrélations, obtenues par approximations successives, doivent être maniées

avec beaucoup de prudence.

Nous proposons, sachant que H est la lame d'eau équivalente écoulee et P la hauteur pluviométrique annuelle, en mm :

- pour la TSANAGA à MAROUA :
 $H = 0,32 (P - 210)$ dans l'intervalle + ou - 20 %
- pour le KALLIAO à MAROUA :
 $H = 0,22 (P - 130)$ dans l'intervalle + ou - 35 %
- pour la TSANAGA à BOGO :
 $H = 0,25 (P - 150)$ dans l'intervalle + ou - 20 %

3.3.2.2. Hauteurs pluviométriques mensuelles.

Pour calculer H à partir des hauteurs pluviométriques mensuelles, nous avons adopté les formules d'ajustement suivantes, sachant que :

P_{AMJ} est la hauteur pluviométrique totale des mois d'Avril, Mai et Juin
 P_J est la hauteur pluviométrique de Juillet
 P_A " " " d'Août
 P_S " " " de Septembre
 P_O " " " d'Octobre

TSANAGA à MAROUA.

$$H = 0,01 P_{AMJ} + 0,18 P_J + 0,36 P_A + 0,44 P_O$$

avec une probabilité de 0,80 de se situer dans l'intervalle + ou - 15 %.

KALLIAO à MAROUA.

$H = 0,02 P_{AMJ} + 0,15 P_J + 0,28 P_A + 0,31 P_S + 0,11 P_O$
avec une probabilité de 0,80 de se situer dans l'intervalle + ou - 25 %.

TSANAGA à BOGO.

$H = 0,01 P_{AMJ} + 0,13 P_J + 0,32 P_A + 0,40 P_S + 0,15 P_O$
avec une probabilité de 0,80 de se situer dans l'intervalle + ou - 10 %.

On peut considérer que les pluies d'Avril, Mai et Juin (20 % de la hauteur pluviométrique annuelle) ne participent pas ou très peu à l'écoulement (pris dans le sens le plus large); elles sont très rapidement absorbées par le sol devenu absolument aride au terme de 6 mois de saison sèche; C'est ce qui explique l'introduction d'un terme négatif ($-P_0$) dans la formule d'ajustement faisant intervenir la hauteur pluviométrique annuelle.

Ces pluies ont donc un rôle saturant très important qui apparaît implicitement dans les formules donnant la hauteur de la lame écoulée.

CHAPITRE IV

MESURES COMPLEMENTAIRES

4.1. MESURE DE L'INFERO-FLUX

4.1.1. Méthode de mesure.

Il s'agit de la mesure du débit de la nappe alluviale qui, tant dans le lit de la TSANAGA que celui du KALLIAO, peut atteindre plusieurs mètres, voire plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

Ce débit est défini par :

$$Q = V_n S_u$$

V_n et S_u étant la vitesse nette et la section utile correspondant uniquement aux vides dans lesquels circule l'eau libre de la nappe.

On oppose généralement vitesse nette à vitesse brute, laquelle est définie par :

$$V_B = pV_n$$

p étant la porosité efficace.

V_B est la vitesse figurant dans la formule de DARCY : $V_B = KI$
C'est une grandeur qui ne correspond à rien au point de vue hydraulique contrairement à V_n qui représente une valeur réelle mesurable sur le terrain.

Cette vitesse peut être, en effet, mesurée à l'aide d'un traceur chimique, CINa (chlorure de sodium) par exemple.

La méthode utilisée consiste donc à suivre la propagation d'un écran salé, en injectant en un point une solution de chlorure de sodium et en repérant en une série de points situés à l'aval les variations de conductivité de l'eau de la nappe. Le passage du sel s'accompagne bien évidemment, d'une diminution sensible de la résistivité.

Deux méthodologies différentes ont été adoptées sur le terrain pour mesurer les variations de salinité à l'aide d'un pont de KOHLRAUCH :

- par sonde annulaire, composée de deux électrodes séparées par un isolant (graphique 61).
- par électrode non isolée.

L'implantation de ces sondes s'effectue suivant un schéma identique pour chaque mesure.

À 30 cm en aval du pieu d'injection, une sonde (A) permet de déceler le passage de l'écran salé. Une deuxième sonde B est implantée à 50 cm en aval de A et la vitesse de l'inféoflux est mesurée sur la distance AB. (Dans la pratique ce n'est pas deux sondes mais deux rideaux de sondes, atteignant des profondeurs différentes qui forment le dispositif de mesures (graphique 61 bis).

Signalons, également, que certaines mesures ont été effectuées sur des distances beaucoup plus longues : 5, 10 ou 20 mètres.

Le temps de passage de l'écran salé d'un rideau à l'autre est déterminé en reportant sur un graphique les variations de la résistivité en fonction des temps (graphique 62). Le temps de passage peut être calculé, soit en prenant les valeurs minimales de résistivité, soit en déterminant les points d'inflexion de la courbe descendante. Cette deuxième solution est dans la plupart des cas adoptée car il est bien souvent impossible de déterminer avec certitudes l'heure du minimum.

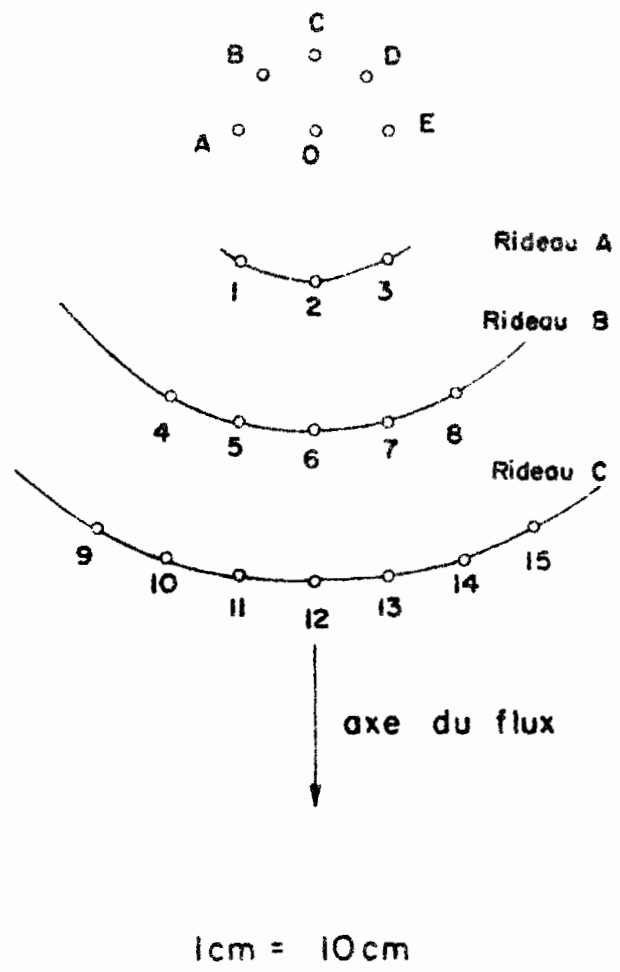
La vitesse d'écoulement de la nappe étant ainsi déterminée, il convient de mesurer la section utile définie par :

$$S_u = S \times p$$

S étant la section droite de la nappe et p la porosité efficace.

S est déterminée à l'aide de sondages qui permettent de relever la limite inférieure de la nappe.

Schéma d'implantation des baguettes pour une profondeur p (mesure du 8.11.68)



Détail d'une sonde annulaire

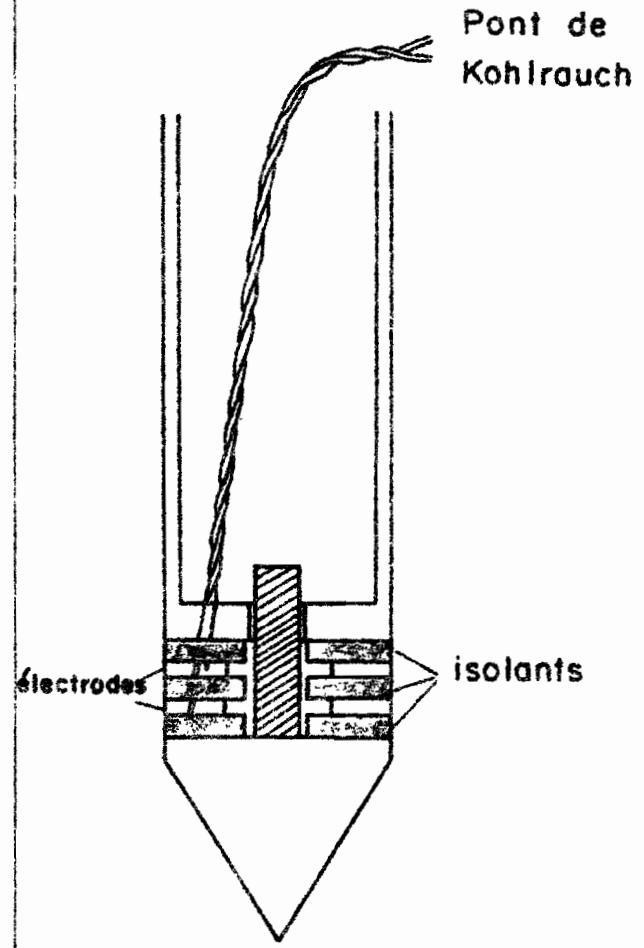
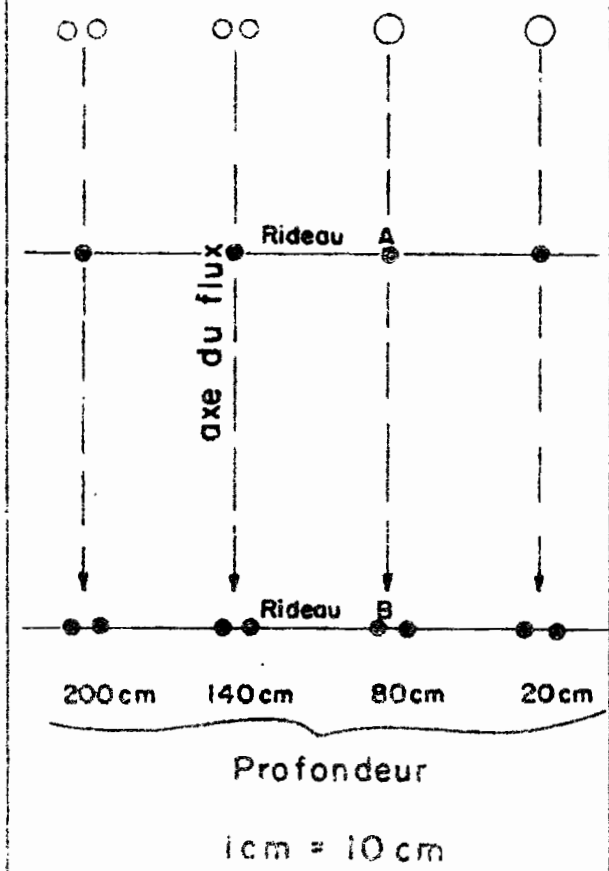


Schéma d'implantation des sondes annulaires



date

des.

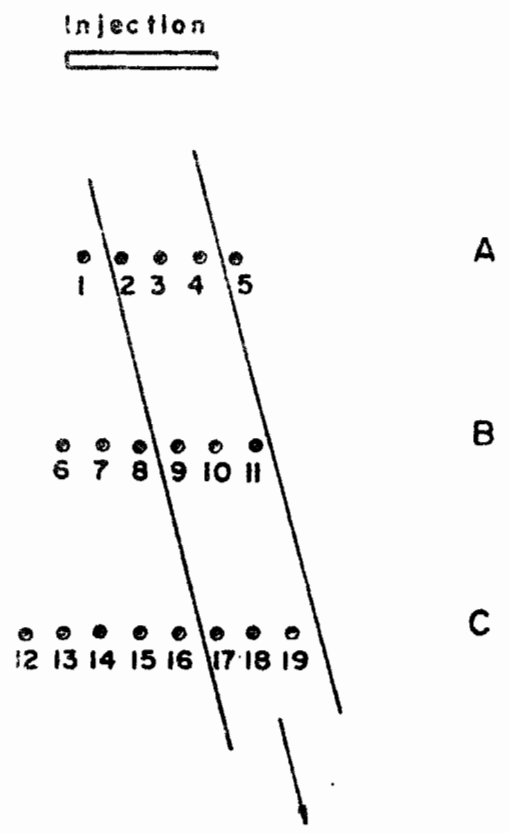
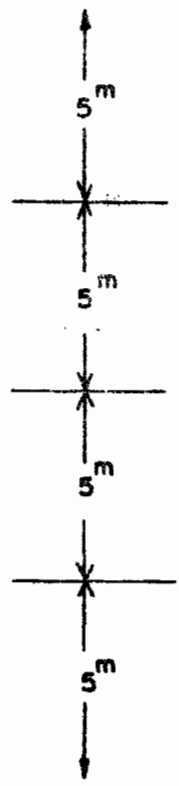
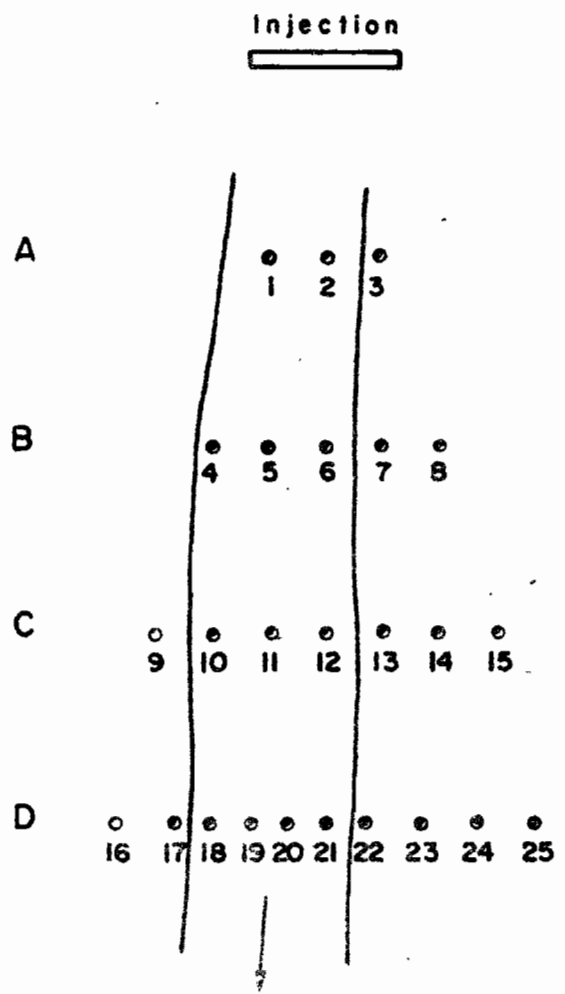
TSANAGA à MAROUA

Gr. 6bis

Schéma d'implantation des sondes

Mesure du 29 - 12 - 68

Mesure du 25 - 2 - 69



Echelle : 1 / 200.000

La détermination de p est plus délicate car il s'agit de mesurer uniquement l'eau gravifique. Pour cela des échantillons sont prélevés dans une tranchée dans la frange capillaire située juste au-dessus de la nappe (zone saturée) en enfonçant horizontalement dans les alluvions un cylindre aux bords biseautés dont le fond est percé de petits trous. Le volume de sable prélevé sera égal au volume intérieur du cylindre; comme il a été pris dans la couche de sable encore humectée, on peut estimer qu'il ne contient que l'eau de rétention. Le volume de l'eau gravifique est ensuite déterminé à l'aide d'un pycnomètre.

4.1.2. Résultats obtenus.

4.1.2.1. Vitesse d'écoulement.

Toutes les mesures de vitesses ont été effectuées dans le lit de la TSANAGA à hauteur de la station hydrométrique de MAROUA quelques dizaines de mètres en amont du pont routier.

Une bonne évaluation des débits aurait demandé plusieurs séries de mesures en différents points du profil en travers pour diverses hauteurs de la nappe. Cependant, comme le but de l'étude était plus de mettre au point une méthodologie valable que de fournir le bilan de l'inféro-flux, seules deux ou trois verticales, tantôt au premier tiers côté rive gauche, tantôt au premier tiers côté rive droite ont été effectuées.

Vingt neuf mesures de vitesses ont été ainsi faites au cours de deux campagnes de saison sèche, 1966-1967 et 1968-1969.

Les résultats de ces mesures ont été consignés dans les tableaux ci-après.

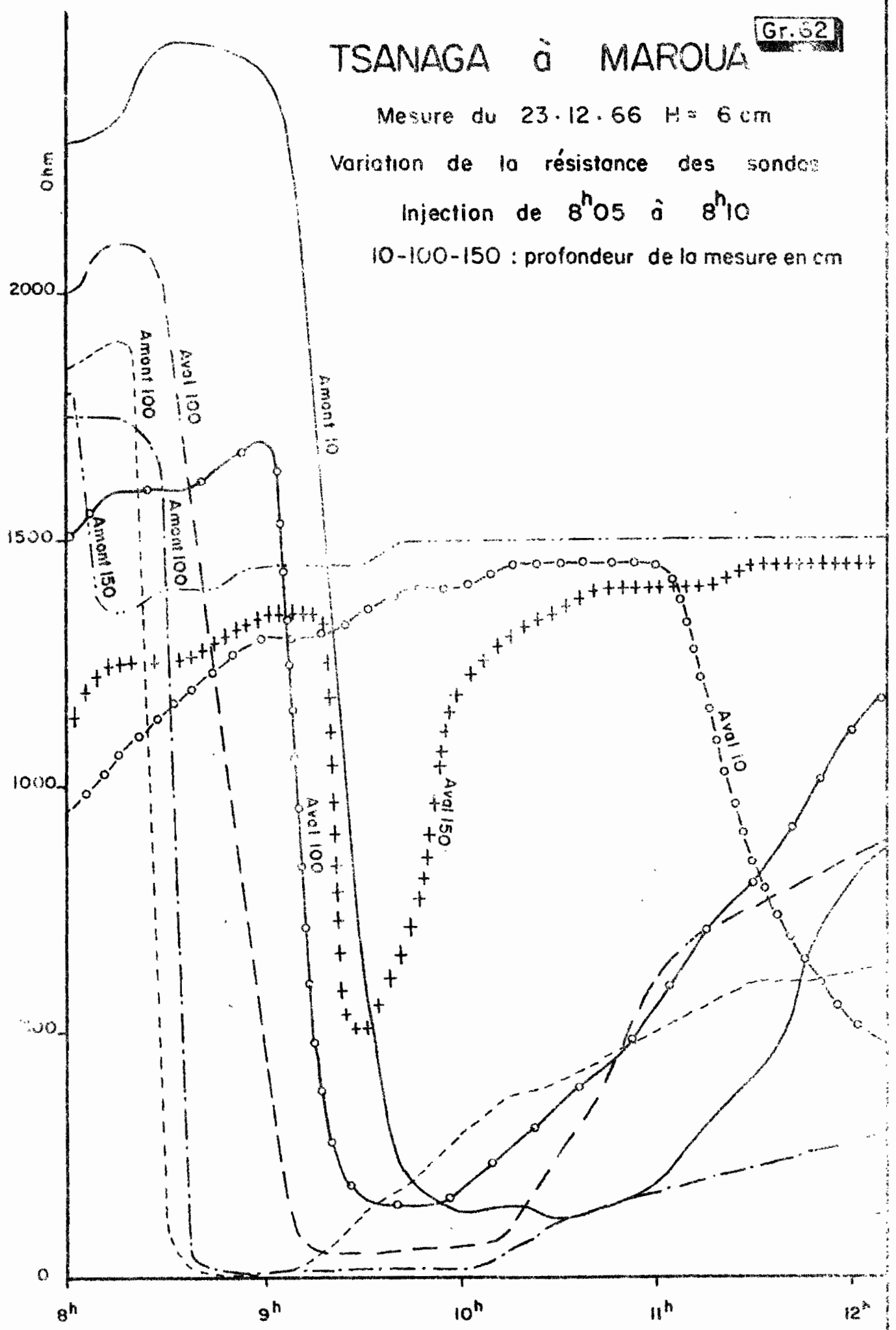
TSANAGA à MAROUA

Mesure du 23.12.66 H = 6 cm

Variation de la résistance des sondes

Injection de 8^h05 à 8^h10

10-100-150 : profondeur de la mesure en cm



RESULTATS DES MESURES DE LA CAMPAGNE 1966-1967

N°	Date	H à l'é- chelle cm	Prof. nappe cm	Méthode	Distance m.	Vitesse en cm/heure			
						P10	P 50	P 100	P 150
1	11.11.66	30	25	S.	10,30 + 0,50	22	16	34	
2	12.11.66	29	26	S.	"	33	18	-	
3	14.11.66	26	29	S.	"	-	-	75	
4	24.11.66	17	28	S.	"	-	17	75/35	50/35
5	25.11.66	16	39	S.	"	22	14/14	24/26	-
6	8.12.66	5	50	S.	"	22	25/14	67/50	
7	9.12.66	4	51	S.	"	11	-	160/67	100
8	22.12.66	- 5	60	S.	"	27	25	-	-
9	23.12.66	- 6	61	S.	"	25	-	120/75	66
10	5. 1.67	-14	69	S.	"	8	-	(27)	
11	7. 2.67	-32	87	S.	"	8	-	-	-
12	11. 2.67	-34	89	S.	"	8	(23)	(12)	(20)
13	28. 2.67	-43	98	S.	"	20	25	-	-
14	4. 3.67	-44	99	S.	"	17	50	-	-

S = Sondes annulaire

RESULTATS DES MESURES DE LA CAMPAGNE 1968-1969

N°	Date	H à l'é- chelle cm	Prof. nappe cm	Méthode	Distance	Vitesse en cm/heure					
						10	50	80	100	140	200
15	28.10.68	43	17	S.	2 x 0,50m						
16	5.11.	31	29	S.	2 x 0,30m	45		30			
17	6.11.	30	30	B.	2 x 0,20m	30					
18	7.11.	29	31	B.	3 x 0,20m	60					
19	8.11.	28	32	B.	"	60					
20	27.11.	15	45	B.	"	80	60				
21	28.11.	14	46	B.	"	48		20			
22	13.12.	5	55	B.	"	30				30	60
23	28.12.	- 5	65	B.	"	40		24		30	
24	30.12.	- 6	66	B.	4 x 5 m	35					
25	16. 1.69	-16	76	B.	3 x 0,20m	20					
26	31. 1.	-25	85	B.	"	45		40			
27	31. 1.	-25	85	B.	3 x 5 m		35				
28	25. 2.	-38	98	B.	3 x 5 m	25					
29	25. 2.	-38	98	B.	3 x 0,20m	30		50			80

S = Sondes annulaires - B = Baguettes non isolées

P 10 - P 50 - P 100 - P 150 : Profondeur de la mesure, en cm.

Il serait tout à fait illusoire de déterminer les variations de la vitesse en fonction de la profondeur pour chacune des verticales de mesures, les strates d'argile perturbant fortement les mesures.

Nous avons regroupé sur les graphiques 63 et 64 les mesures des campagnes 1966-67 et 1968-69. Les résultats obtenus sont très dissemblables :

- pour 1966-67 on remarque qu'entre 40cm et 110cm de profondeur les vitesses varient entre 8 et 25 cm/heure. Au-delà de 110cm, la vitesse croît avec la profondeur (des vitesses supérieures à 100 cm/heure ont été mesurées).

- pour 1968-69, il semble difficile de dégager une tendance, toutes les mesures se situant entre 20 et 50 cm/heure.

Notons que les mesures effectuées sur une grande distance indiquent des vitesses voisines à des profondeurs pourtant différentes : de 29 à 35 cm/heure entre 70 et 140cm.

La dispersion des résultats n'est pas due à la méthodologie, mais provient, essentiellement, de l'hétérogénéité des matériaux alluvionnaires : granulométrie variable, stratifications entrecroisées.

Il semble raisonnable d'adopter pour l'étude du bilan de l'écoulement de la nappe d'inféro-flux, une vitesse moyenne de 35 cm/heure.

4.1.2.2. Mesure de la section.

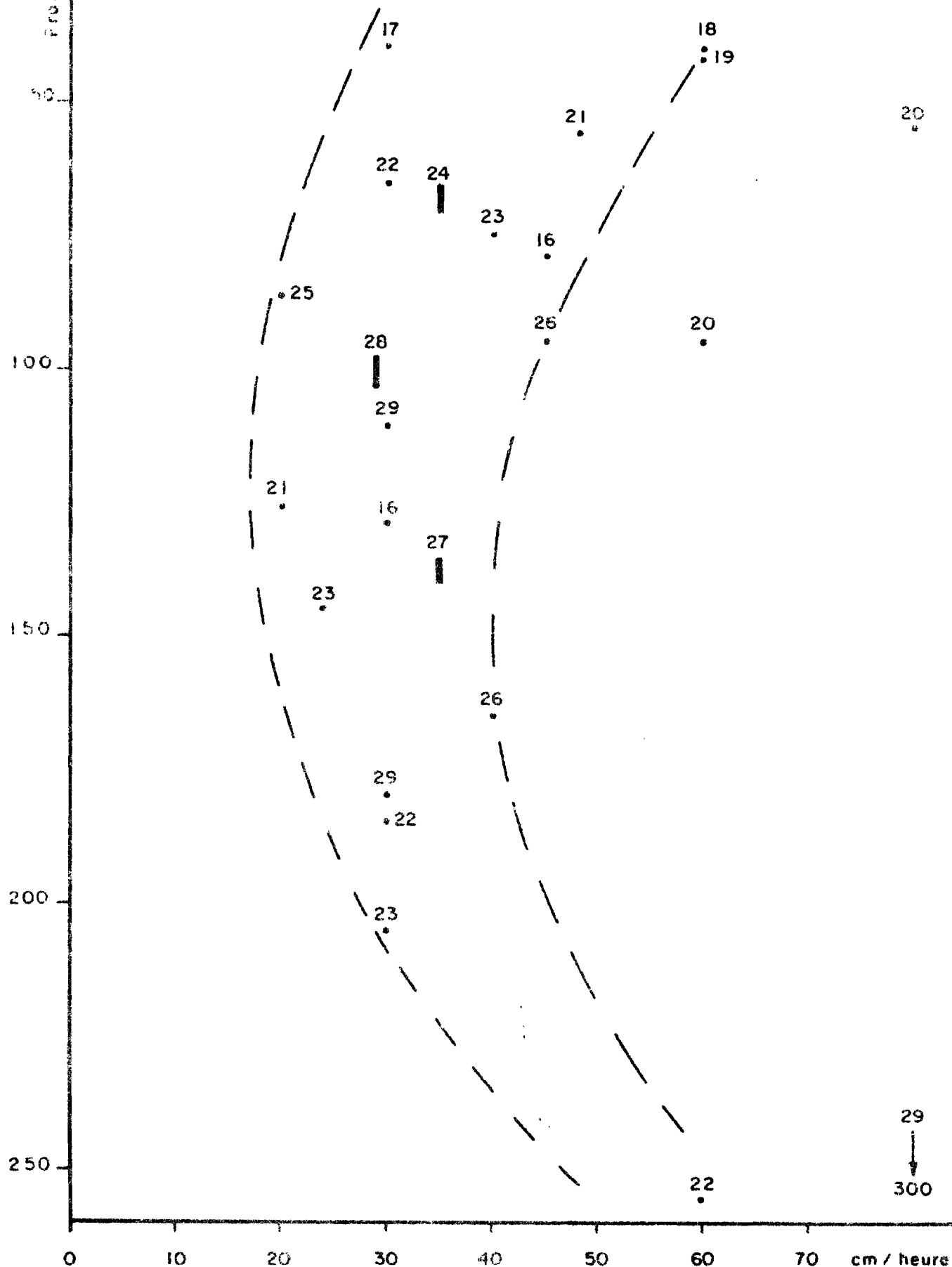
Le profil en travers du lit a été déterminé avec précision à l'aide de sept sondages. Quelques jours après la fin de l'écoulement superficiel, soit au premier Novembre 1968, la section droite de la nappe est trouvée égale à 294m^2 ; au premier Mai 1969 le niveau piézométrique a baissé de 80cm et la section n'est plus que de 190m^2 . A la fin de la saison sèche avant les premières crues, dont les eaux sont absorbées en quasi totalité par les alluvions du mayc la section est voisine de 150m^2 soit la moitié de ce qu'elle était à la fin de l'écoulement de surface.

TSANAGA à MAROUA

Gr. 64

Vitesse de la nappe selon la profondeur :

résultats de la campagne 1968-1969



4.1.2.3. Porosité.

Suivant la méthode indiquée au paragraphe 4.1.1, six prélèvements de sables ont été effectués en différents points du profil en travers de la TSANAGA. Sur un volume prélevé de 304cm^3 , il a été calculé une porosité moyenne totale de 30 % et une porosité efficace de 14 %

4.1.2.4. Caractéristiques de l'inféro-flux.

Le débit est calculé à partir des paramètres suivants :

- section droite de la nappe
- porosité efficace
- vitesse moyenne de l'inféro-flux.

$$Q = S \times p \times V_n$$

Le premier Novembre 1968 le débit de l'inféro-flux était :

$$Q_1 = 294 \times 0,35 \times 0,14 = 14,4\text{m}^3/\text{heure} \\ \text{soit } 4 \text{ l/sec.}$$

Le premier Mars 1969 :

$$Q_2 = 190 \times 0,35 \times 0,14 = 9,3\text{m}^3/\text{heure} \\ \text{soit } 2,6 \text{ l/sec.}$$

On peut donc estimer qu'en année moyenne le volume d'eau qui s'écoule dans la nappe alluviale du mayo est d'environ 100.000m^3 . Rappelons que le volume écoulé annuel moyen d'eau de surface est voisin de 200 millions de m^3 , soit 2.000 fois plus important.

En appliquant la loi de DARCY, le coefficient de perméabilité peut s'écrire :

$$K = \frac{V_n \times D}{I}$$

I étant la perte de charge par unité de longueur (pente longitudinale de la nappe).

$$K = \frac{0,35 \times 0,14}{3600 \times 3,3 \times 10^{-3}} = 4,1 \times 10^{-3} \text{ m/l}$$

Il s'agit là d'une perméabilité moyenne correspondant à des sables relativement grossiers, renfermant tout de même des éléments fins.

4.2. MESURES DES TRANSPORTS SOLIDES.

4.2.1. Campagnes de mesures.

Il s'agit uniquement de la mesure des transports solides en suspension qui représentent, précisons le, un très fort pourcentage du transport total.

Quelques mesures ont été effectuées aux trois stations de MAROUA et BOGO en 1966 et 1967 :

15 sur la TSANAGA à MAROUA
13 sur le KALLIAO
10 sur la TSANAGA à BOGO.

Les colonnes des tableaux, ci-après, indiquent dans l'ordre :

Date : date de la mesure,
C, D ou E : crue, décrue ou étale,
Q : débit, en m^3/s ,
 Q_s : débit solide, en kg/s ,
 C_m : concentration moyenne en sédiments, en g/m^3 ,
CM : concentration maximale mesurée, en g/m^3 .

Date		Q	Qs	Cm	CM
5. 8.66	D	12,1	2,7	124	185
11. 8.66	D	25	8,6	295	355
14. 8.66	D	41,6	28,4	728	839
25. 8.66	D	48,9	58	1 012	1 137
31. 8.66	D	31,6	8	242	306
16. 8.66	C	31,6	12	508	130
17.10.66	D	1		6	13
7. 7.67	D	8,9	5,0	563	6,74
10. 7.67	D	31,6	72,3	2 289	3 211
15. 7.67	D	104	333	3 205	4 243
15. 7.67	D	63,5	156	2 462	2 747
19. 7.67	D	58,2	90,8	1 560	1 805
25. 7.67	D	17,4	4,3	246	306
29. 7.67	E	165	487	2 954	3 799
25. 8.67	E	41,6	26,4	635	825

KALLIAO à MAROUA

29. 7.66	C	1,2	2,9	2 458	2 722
10. 8.	D	76	124	1 628	1 856
10. 8.	D	35	40	1 150	1 314
13. 8.	C	32	263	8 224	10 032
17. 8.	D	17,6	20	1 120	1 309
31. 8.	D	3,2	0,6	197	265
7. 7.67	D	3,56	11	3 117	3 312
19. 7.	D	59,4	175	2 941	4 058
19. 7.	D	30,7	70	2 290	2 698
22. 7.	E	61,2	560	9 155	12 166
29. 7.	D	22,5	80	3 576	4 404
8. 8.	D	75,4	380	5 047	7 210
24. 8.	D	71	120	1 697	2 345

TSANAGA à BOGO

Date		Q	QS	Cm	CM
16. 8.66		27,6	16,9	614	781
25. 8.66		73,5	169	2 302	3 512
29. 8.66		38,4	35,1	915	903
4. 9.66		10	1,4	137	169
17.10.66		1,05	0,01	9	13
23. 7.67		102	445	4 361	5 446
29. 7.67		57,8	152	2 625	3 847
9. 8.67		51,5	84	1 636	2 146
25. 8.67		77,7	90	1 160	1 832
30. 8.67		196	350	1 302	1 802

Une étude plus fine a été effectuée à la seule station de BOGO au cours de deux campagnes en 1968 et 1969.

4.2.2. TSANAGA à BOGO.

53 mesures complètes ont été effectuées en 1968, soit plus de 460 prélèvements et 84 en 1969 représentant 720 prélèvements.

Chaque mesure comprenait de 9 à 11 échantillons de 10 litres répartis sur 5 verticales. Nous nous sommes souvent contenté de prendre pour valeur de la concentration moyenne, la moyenne arithmétique des mesures ponctuelles, la mesure synchrone des concentrations et des vitesses étant pratiquement impossible.

4.2.2.1. Etude des crues.

Au cours d'une crue les mesures étaient faites, à la montée, si possible au maximum, de préférence un peu avant, et à la décrue. Un certain nombre de prélèvements étaient effectués également, entre les crues.

Nous avons porté sur un même graphique, pour chaque crue, l'hydrogramme, la courbe des concentrations moyennes et la courbe de variation des débits solides, cette dernière étant obtenue en faisant le produit : concentration moyenne (cm) par le débit (Q) (graphique 65).

Les colonnes des deux tableaux, ci-après, indiquent dans l'ordre :

N° : numéro de la crue

Date : date de la crue

V_r : volume ruisselé, en 10^3 m^3

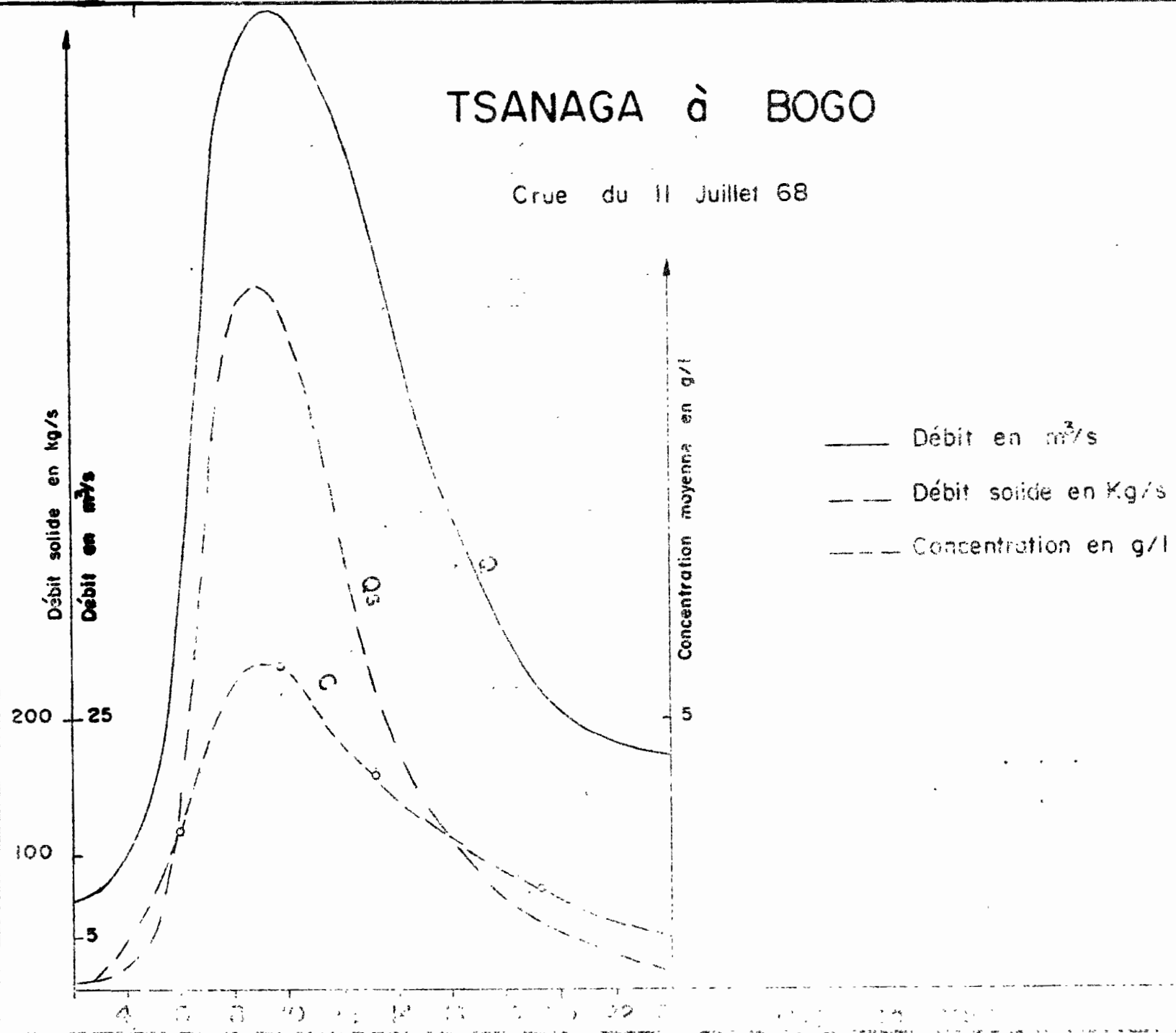
P_s : poids total des matières transportées en suspension, en tonnes

C_mR : concentration moyenne des sédiments (ruissellement) en g/l ($C_mR = \frac{P_s}{V_r}$)

$K = \frac{Q_{\max} R}{Q_{\text{moy}} R}$ $Q_{\text{moy}} R$ étant le débit moyen de ruissellement (ce coefficient permet de définir la forme de l'hydrogramme).

TSANAGA à BOGO

Crue du 11 Juillet 68



date
des.

1968

N°	Date	V _r (10 ³ m ³)	P _s (Tonne)	C _{mR} (g/l)	Q max (m ³ /s)	K $\frac{Q_{maxR}}{Q_{moyR}}$
1	11. 7.68	2 400	14 000	5,8	90,6	3,0
2	13. 7.68	1 500	7 300	4,9	65,0	3,4
3	20 et 21. 7.68	9 400	37 800	4,0	167	2,2
4	26. 7.68	3 600	15 400	4,3	108	2,9
5	15. 8.68	1 050	2 500	2,4	36,1	3,0
6	16. 8.68	1 700	4 700	2,8	54,0	3,0
7	20. 8.68	2 200	8 400	3,8	82,0	3,0
8	22. 8.68	4 300	13 500	3,1	132	2,1
9	23 et 24.0.68	11 000	36 400	3,3	194	2,8
10	25 et 26.8.68	13 800	41 400	3,0	225	3,1
11	29. 8.68	9 600	30.400	3,2	190	2,6
12	4. 9.68	1 900	3 900	2,1	73,5	3,8
13	11. 9.68	3 250	8 200	2,5	107	2,6

1969

14	20 et 21. 6.	1 530	4 970	3,2	26,5	2,7
15	23. 6.	2 830	11 560	4,1	45,5	3,3
16	6 et 7. 7.	2 665	5 790	2,2	24,2	1,6
17	14 et 15.7.	3 310	12 580	3,8	60,0	3,8
18	22 et 23.7.	3 160	11 010	3,5	45,8	2,5
19	24 à 27. 7.	9 245	23 090	2,5	65,9	3,1
20	31.7 à 3.8.	12 330	27 550	2,2	111	2,1
21	3 et 4. 8.	14 760	36 280	2,5	184	2,3
22	5 et 6. 8.	5 400	13 680	2,5	103	2,0
23	6 et 7. 8.	6 900	17 410	2,5	84	1,9
24	16 et 17.8.	9 935	20 170	2,0	133	2,6
25	23 et 24.8.	4 230	5 300	1,3	69,0	2,1
26	26 et 27.8.	24 700	41 380	1,7	177	2,1
27	4 et 5.9.	10 325	15 430	1,5	85	1,8
28	14 et 15.9.	3 445	3 520	1,0	35,0	2,3
29	19 et 20.9.	5 015	8 470	1,7	67,7	3,4
30	26.9.	3 995	5 950	1,5	46,5	2,5

La méthode de travail utilisée est celle des déviations résiduelles.

Une étude globale aurait demandé l'introduction de paramètres qui permettent de définir quantitativement l'état d'humectation du sol et de la croissance du tapis végétal, la hauteur pluviométrique journalière ou la somme des pluies depuis le début de l'année par exemple. Le seul paramètre secondaire dont nous disposons est le débit de base observé à la station de BOGO. Si en première approximation nous pouvons considérer que la recharge des nappes est liée plus ou moins étroitement à l'humidité du sol, il en va différemment de la croissance du tapis végétal. En Septembre, par exemple, la végétation atteint son développement maximum alors que le débit de base tend déjà à décroître.

Les crues de 1968 et 1969 ont donc été étudiées séparément.

Pour chaque crue nous avons porté les poids de matière transportées en suspension (P_s) en fonction des volumes ruisselés (V_r) et tracé une courbe moyenne des poids observés. La dispersion étant relativement importante, nous avons étudié, graphiquement, les écarts des P_s aux courbes du graphique 66, en prenant la date comme facteur de correction (graphique 67). Cette correction correspond à l'évolution du sol et de sa couverture au cours de la saison des pluies, nettoyage d'abord, puis croissance de la végétation herbacée.

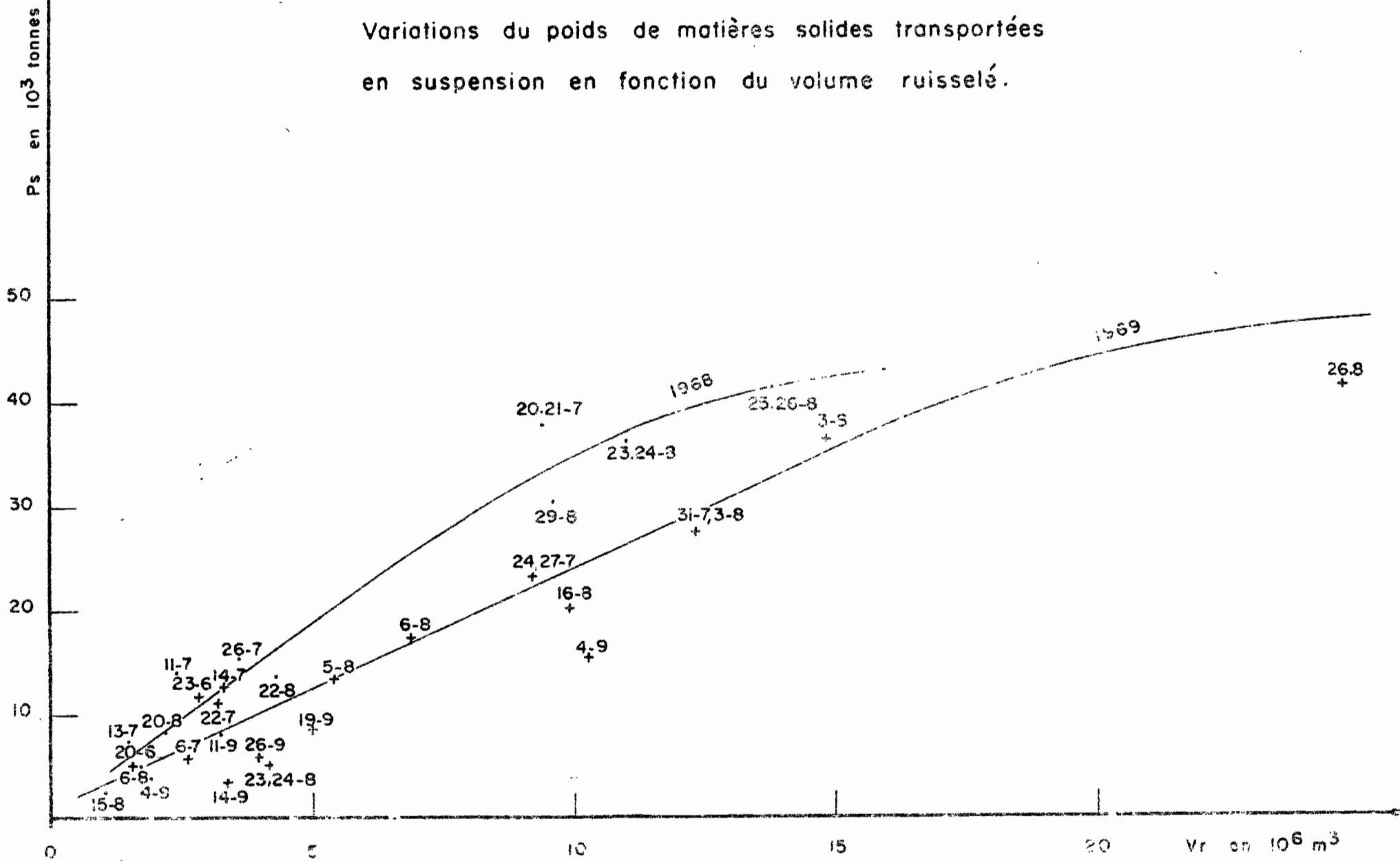
Les poids observés corrigés sont portés sur le graphique 68. Les courbes moyennes correspondent aux P_s observés ramenés au 4 Août 1968 et au 3 Août 1969 (date d'une correction nulle).

Nous notons que pour des volumes ruisselés égaux et ramenés sensiblement à la même époque de référence (3 et 4 Août), les poids de matières solides transportées en suspension sont beaucoup plus forts en 1968 qu'en 1969. Ceci est dû, au fait que les pluies précoces de 1969 ont permis au tapis végétal de protéger très rapidement le sol contre l'érosion pluviale.

La dispersion des points de l'année 1969 restant encore relativement importante, nous avons introduit une deuxième correction faisant intervenir la forme de l'hydrogramme, par l'intermédiaire

TSANAGA à BOGO

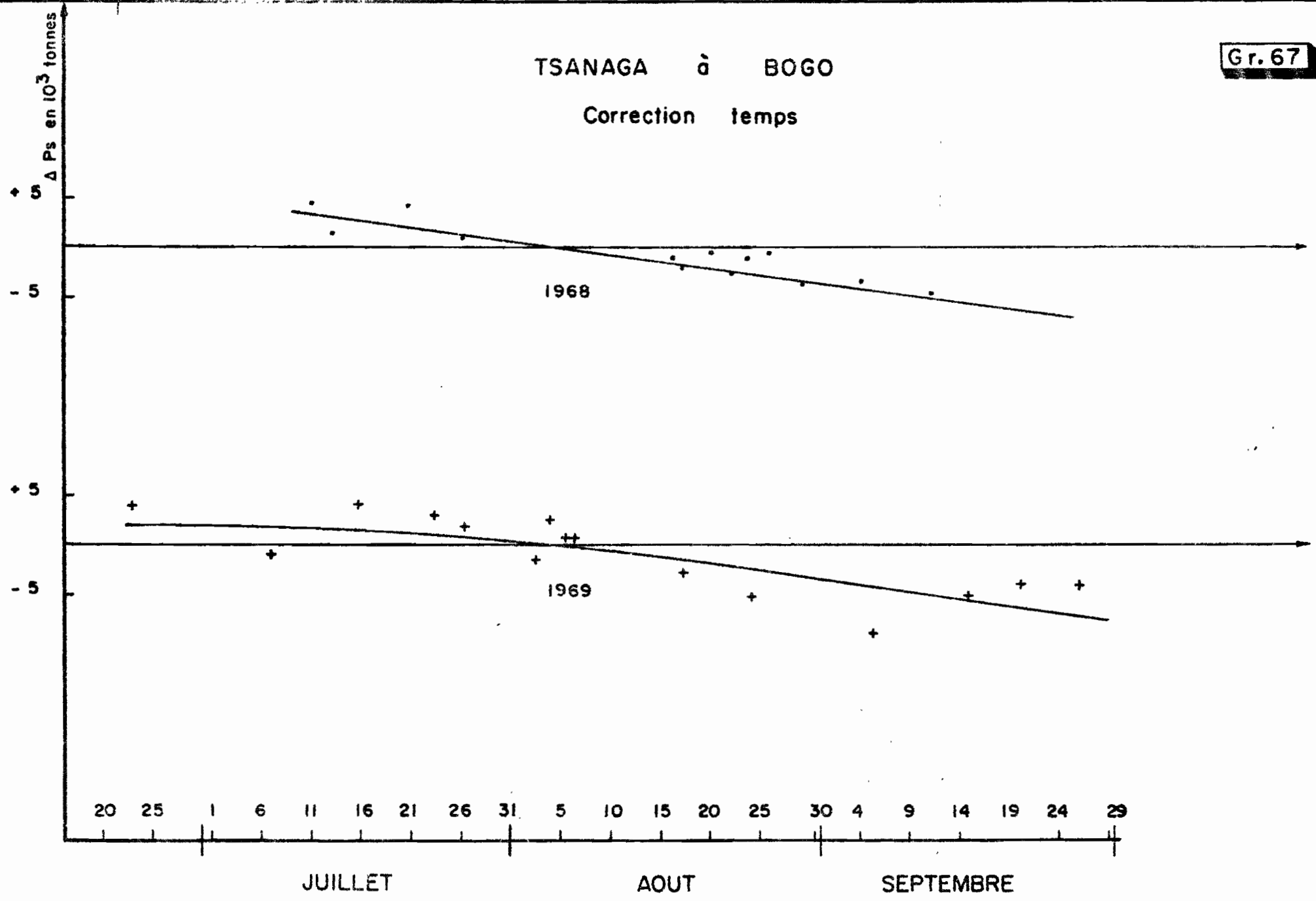
Variations du poids de matières solides transportées
en suspension en fonction du volume ruisselé.

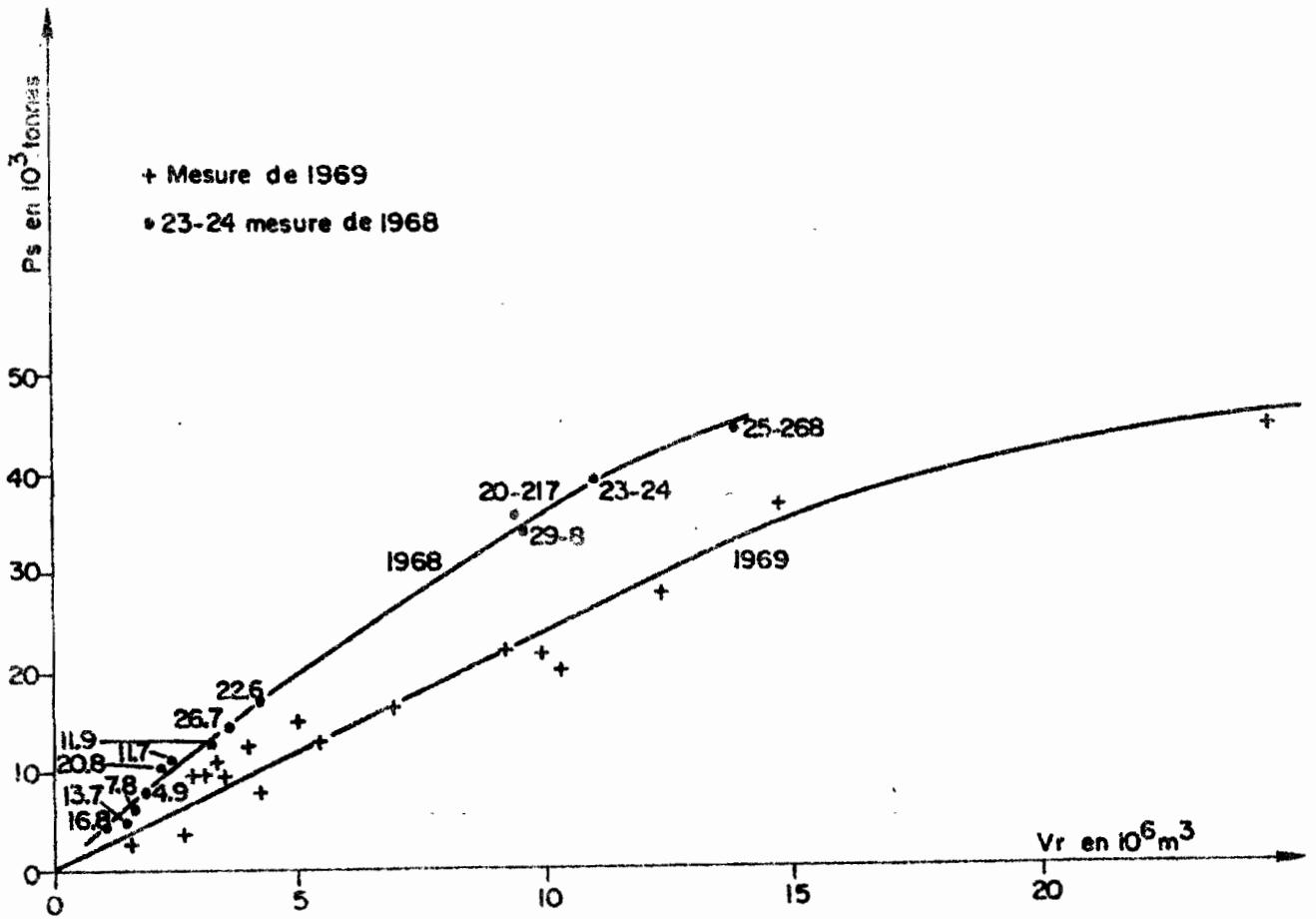


TSANAGA à BOGO

Gr. 67

Correction temps





Variation du poids de matières transportées en suspension (Ps observés ramenés au 3 Aout 1969 ou au 4 Aout 1968) en fonction du volume ruisselé.

du rapport $K = \frac{Q_{\max} R}{Q_{\text{moy}} R}$ (graphique 69). On peut, en effet, raisonnablement supposer qu'à volume égal, et pour des averses suffisamment homogènes, la crue ayant le plus fort pouvoir érosif sera celle qui aura le rapport K le plus élevé (les crues provoquées par des averses présentant de fortes intensités ayant une forme plus aiguë).

Les P_s observés corrigés suivant la date et le coefficient K sont portés sur le graphique 69 en fonction du volume ruisselé. La dispersion est bien réduite et acceptable.

Remarque.

Une autre manière d'aborder l'étude des transports solides en période de crues consiste à suivre les variations de la concentration moyenne de ruissellement en fonction du temps. Comme dans le cas précédent nous avons introduit des termes correctifs : Q_{\max} pour 1968 et $K \frac{Q_{\max} R}{Q_{\text{moy}} R}$ pour 1969.

Le graphique 70 montre les variations des concentrations moyennes corrigées pour $Q_{\max} = 70 \text{ m}^3/\text{s}$ et $K = 2,2$.

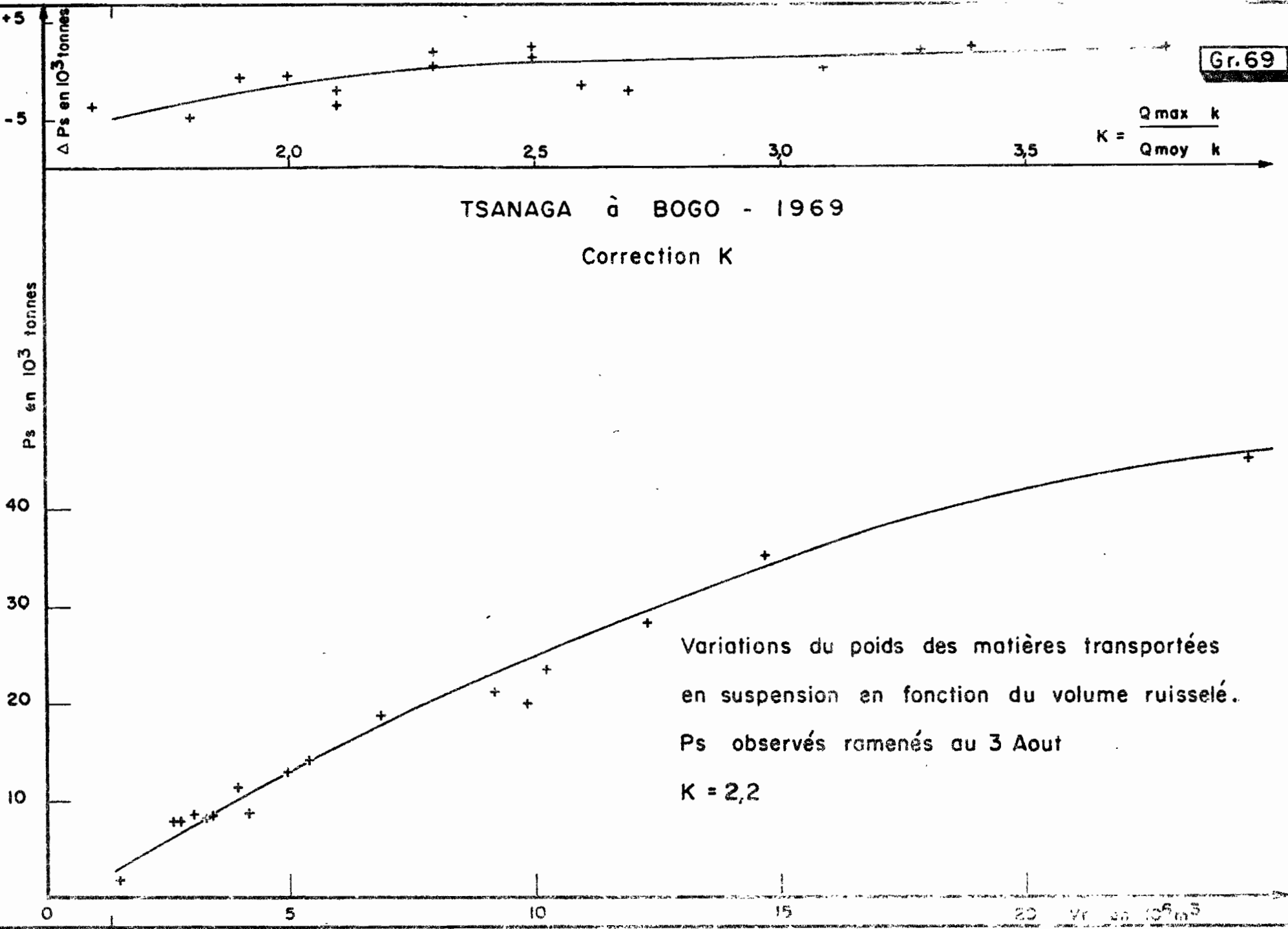
Les deux bandes de variations obtenues sont décalées dans le temps d'un mois environ, la saison des pluies 1969 ayant été, comme nous l'avons vu, très précoce.

Nous pouvons dégager 4 périodes :

- 1 - En début de saison des pluies, les premières averses tombent sur un sol sec et pulverulent, mal protégé contre l'érosion. Les eaux de ruissellement sont très chargées, les concentrations moyennes pouvant atteindre et même dépasser 5 g/l.
- 2 - Très rapidement l'horizon le plus superficiel du sol s'humidifie et prend une certaine cohésion, le tapis végétal commence à croître, la concentration moyenne après ^{une} décroissance assez rapide se stabilise aux alentours de 3 g/l.
- 3 - Lorsque la saison des pluies est bien installée et que la végétation herbacée ou arborée protège efficacement le sol, la turbidité moyenne décroît assez rapidement de 3 à 2 g/l.

$$K = \frac{Q_{max} \cdot k}{Q_{moy} \cdot k}$$

TSANAGA à BOGO - 1969
Correction K



TSANAGA à BOCO

Gr. 70

Variations de la concentration moyenne
en fonction du temps

$Q_{max} = 70 m^3/s$

Concentration en g/l.

1968

1969

$K = 2,2$

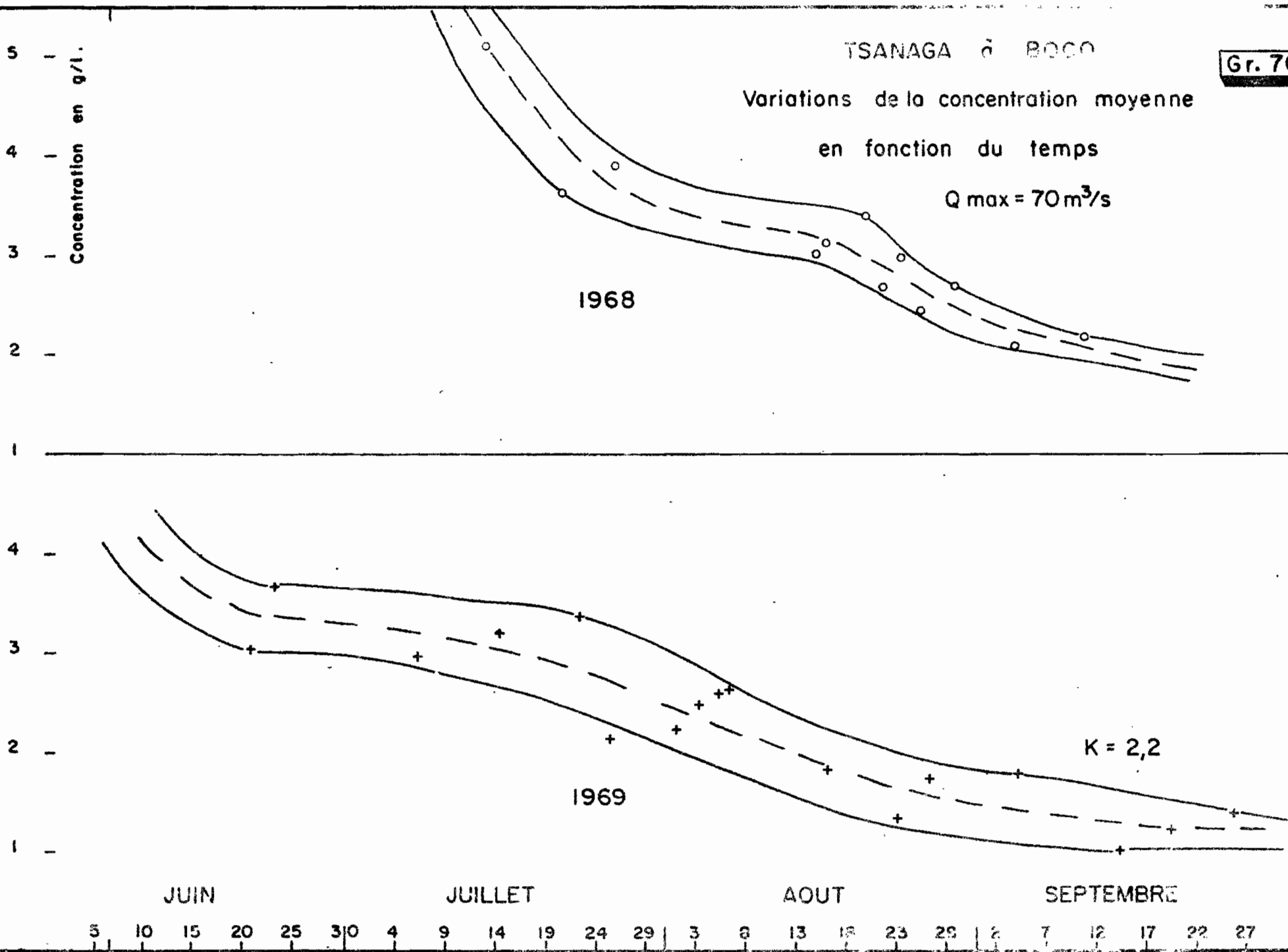
JUIN

JUILLET

AOUT

SEPTEMBRE

5 10 15 20 25 30 4 9 14 19 24 29 3 8 13 18 23 28 2 7 12 17 22 27



4 - En fin de saison des pluies, les variations sont beaucoup moins sensibles, la protection végétale étant alors suffisante et optimale. La concentration moyenne moyenne se situe au-dessous de 2 g/l.

Les graphiques 71 et 72 sur lesquels figurent les variations de la concentration moyenne journalière et du débit moyen journalier en fonction du temps, montrent bien le rôle de l'humidité du sol et l'importance primordiale de la croissance de la végétation au cours de la saison des pluies.

4.2.2.2. Bilan.

Les tableaux, ci-après, donnent les poids journaliers de matières solides transportées en suspension pour les années 1968 et 1969 :

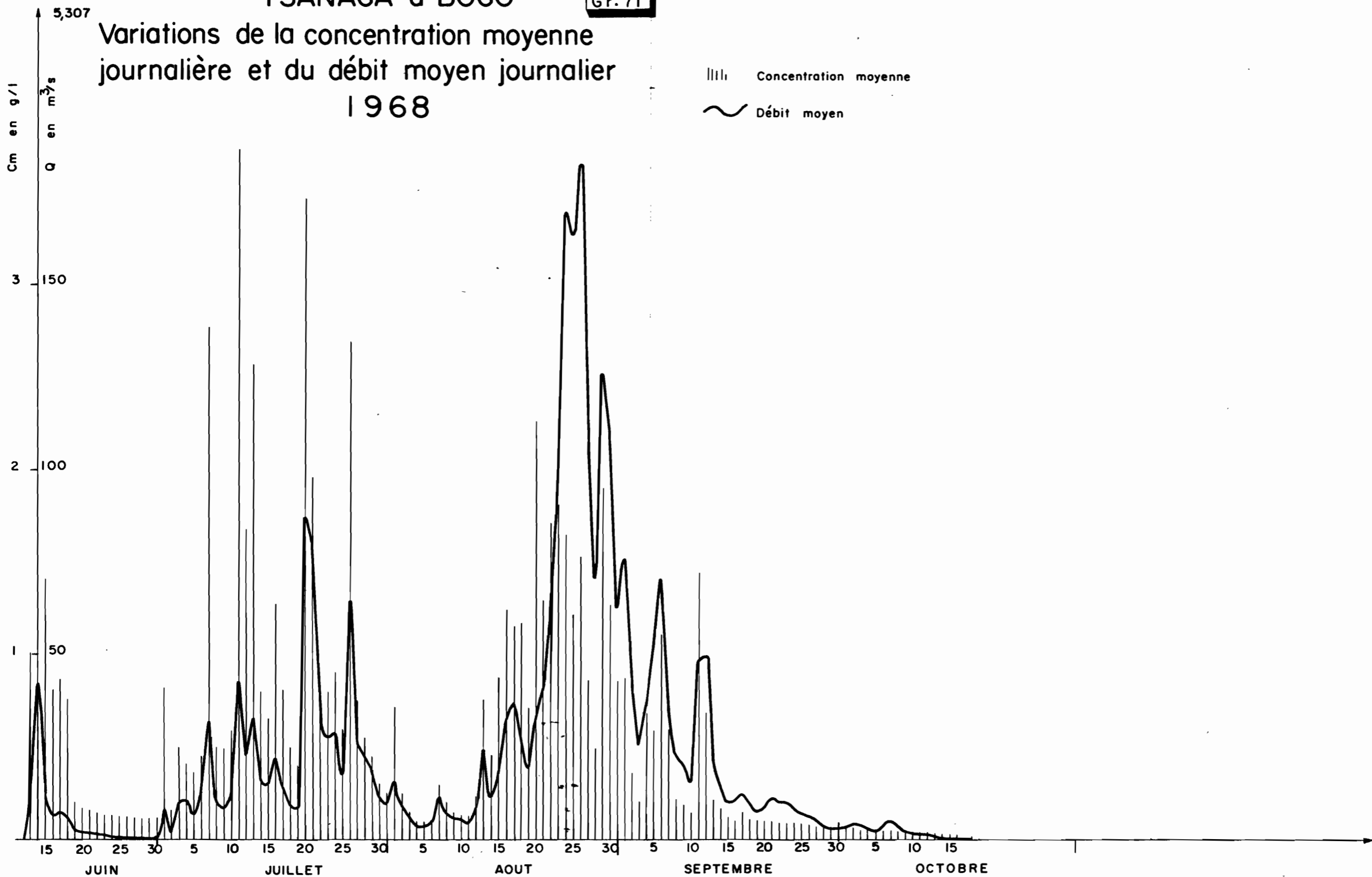
TSANAGA à BOGO

Gr. 71

Variations de la concentration moyenne journalière et du débit moyen journalier 1968

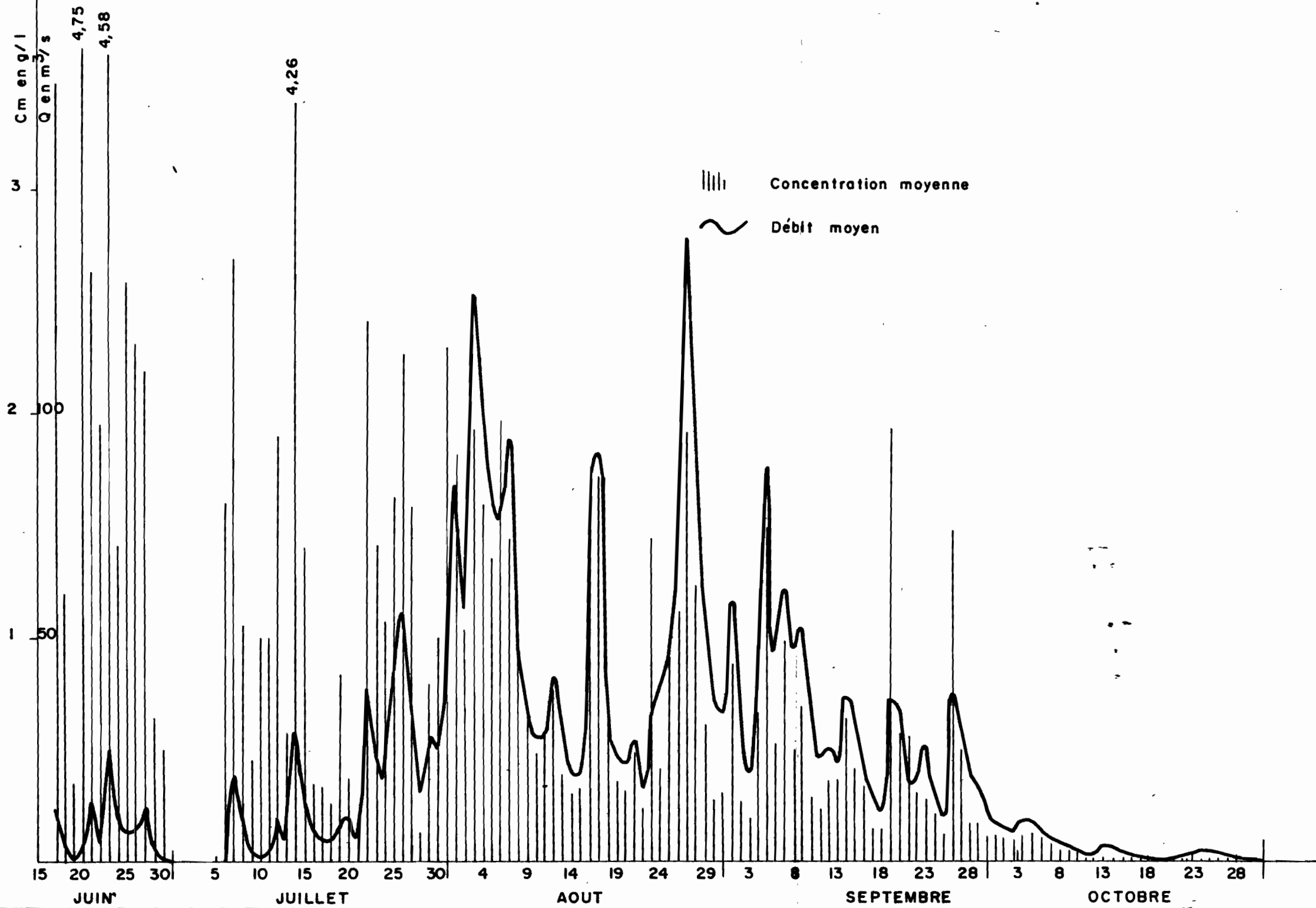
|||| Concentration moyenne

~ Débit moyen



Gr.72

Variations de la concentration moyenne journalière et du débit moyen journalier 1969



TSANAGA à BOGO

ANNEE 1968

Débits solides en tonnes/j.

! Jours !	! J !	! J !	! A !	! S !	! O !
! 1 !		! 600 !	! 970 !	! 5 700 !	! 20 !
! 2 !		! 27 !	! 200 !	! 1 300 !	! 25 !
! 3 !		! 435 !	! 80 !	! 450 !	! 19 !
! 4 !		! 370 !	! 35 !	! 2 100 !	! 13 !
! 5 !		! 215 !	! 30 !	! 2 600 !	! 10 !
! 6 !		! 490 !	! 35 !	! 6 700 !	! 15 !
! 7 !		! 7 600 !	! 300 !	! 1 900 !	! 20 !
! 8 !		! 470 !	! 125 !	! 450 !	! 15 !
! 9 !		! 355 !	! 75 !	! 320 !	! 10 !
! 10 !		! 600 !	! 60 !	! 190 !	! 7 !
! 11 !		! 13 800 !	! 50 !	! 6 000 !	! 6 !
! 12 !		! 3 300 !	! 170 !	! 2 900 !	! 5 !
! 13 !	! 1 200 !	! 7 200 !	! 1 600 !	! 430 !	! 4 !
! 14 !	! 17 000 !	! 1 150 !	! 440 !	! 230 !	! 3 !
! 15 !	! 1 600 !	! 830 !	! 1 350 !	! 105 !	! 2 !
! 16 !	! 460 !	! 2 400 !	! 3 350 !	! 90 !	! 1 !
! 17 !	! 550 !	! 1 060 !	! 3 650 !	! 160 !	! 0,6 !
! 18 !	! 420 !	! 420 !	! 2 900 !	! 105 !	! 0,4 !
! 19 !	! 45 !	! 290 !	! 1 160 !	! 70 !	! 0,2 !
! 20 !	! 32 !	! 26 000 !	! 6 300 !	! 75 !	
! 21 !	! 25 !	! 13 300 !	! 4 450 !	! 100 !	
! 22 !	! 18 !	! 2 500 !	! 8 500 !	! 80 !	
! 23 !	! 13 !	! 1 900 !	! 15 000 !	! 80 !	
! 24 !	! 10 !	! 2 250 !	! 24 000 !	! 65 !	
! 25 !	! 7 !	! 910 !	! 17 000 !	! 55 !	
! 26 !	! 5 !	! 15 000 !	! 24 000 !	! 45 !	
! 27 !	! 4 !	! 1 760 !	! 8 000 !	! 35 !	
! 28 !	! 3 !	! 1 090 !	! 3 000 !	! 30 !	
! 29 !	! 2 !	! 760 !	! 20 500 !	! 25 !	
! 30 !	! 1 !	! 310 !	! 12 000 !	! 20 !	
! 31 !		! 210 !	! 4 600 !		
! Total !	! 21 395 !	! 107 602 !	! 163 930 !	! 32 410 !	! 176 !

TSANAGA à BOGO

ANNÉE 1969

Débits solides en tonnes/j.

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1							0	13 100	4 430	86		
2							0	5 040	740	69		
3							0	21 000	325	52		
4							0	14 200	1 930	93		
5							0	9 650	11 300	95		
6							560	13 000	2 090	46		
7							4 410	11 700	5 130	29		
8							740	4 000	2 050	17		
9							90	1 950	3 110	9		
10							78	1 190	790	5		
11							78	1 330	450	1,7		
12							1 760	2 660	770	0,4		
13							225	1 010	670	17		
14							10 600	515	2 020	9		
15							1 800	560	1 170	3,5		
16							190	6 010	530	0,9		
17						3 600	156	13 500	200	0,3		
18						505	104	2 015	140	0		
19						10	605	755	6 010	0		
20						1 830	305	580	1 620	0		
21						3 010	86	1 110	850	0,9		
22						655	8 210	325	480	1,7		
23						9 970	2 750	3 960	630	6		
24						1 060	1 670	1 370	290	10		
25						1 540	5 690	3 690	105	9		
26						1 320	10 400	7 990	4 730	4		
27						2 120	5 150	22 900	1 280	2,6		
28						153	173	8 570	280	0,9		
29						27	1 870	2 830	240	0,5		
30						0	2 200	830	110	0,2		
31							9 900	830		0,1		
Total						25 800	69 800	178 120	54 470	570		

Nous avons regroupé, ci-dessous, les principales caractéristiques des deux années d'études :

Q moy est débit moyen mensuel, en m^3/s ,

P moy est la hauteur pluviométrique mensuelle, en mm,

C_m est la concentration moyenne mensuelle, en g/l.

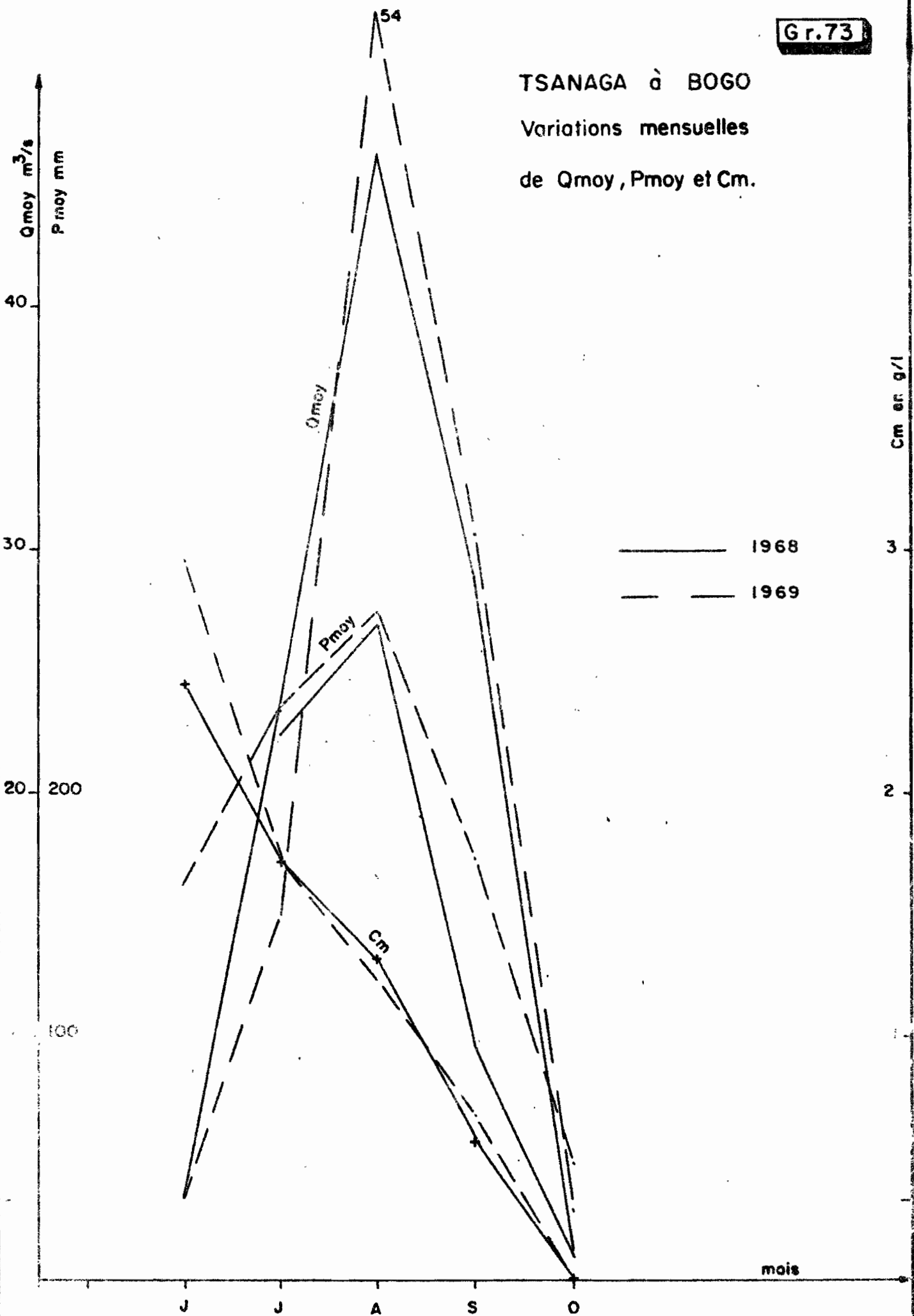
Mois	Q moy m ³ /s		P moy mm		C _m g/l	
	1968	1969	1968	1969	1968	1969
Juin	3,40	3,35		164	2,43	2,96
Juillet	23,4	15,0	224	234	1,72	1,74
Août	46,2	54,0	269	275	1,32	1,24
Septembre	28,9	30,7	96	173	0,57	0,68
Octobre	1,30	2,85	9	47	0,07	0,05

	1968	1969
Poids total annuel	325.510 T	328.760 T
Dégradation spécifique annuelle	212 T/Km ² x an	214 T/Km ² x an
C _m annuelle	1,27 g/l	1,17 g/l

Le graphique 73 donne une représentation des éléments de ce tableau.

Les différences relativement importantes entre les hauteurs pluviométriques observées, au cours des deux années, ne se retrouvent pas aussi nettement lorsque l'on compare les débits. L'explication de ce phénomène est à rechercher dans une répartition différente des fréquences et hauteurs d'averses entre les deux années. Nous avons déjà signalé (paragraphe 4.2.2.1.) l'importance des petites averses de début de saison des pluies qui favorisent le démarrage de la végétation herbacée, laquelle sera apte à protéger efficacement le sol contre l'érosion lorsque surviendront des averses plus importantes. Il faut noter comme caractéristique intéressante la similitude des deux courbes de variations mensuelles de la concentration, C_m, malgré des débits moyens parfois différents (Juillet).

TSANAGA à BOGO
Variations mensuelles
de Qmoy, Pmoy et Cm.



4.2.2.3. Conclusion.

Le bassin de la TSANAGA est représentatif d'une zone qui englobe les versants orientaux des monts MANDARA et qui se prolonge vers l'Est par une vaste plaine alluviale. Les rivières ou mayos, de cette région descendent très rapidement des massifs et vont se perdre dans les immenses plaines, appelées yaeres, de la cuvette tchadienne où ils déposent les matériaux fins arrachés aux parties amont de leur bassin.

On peut considérer qu'en arrivant dans les yaeres ces mayos ont une charge en suspension qui correspond à une dégradation spécifique moyenne de $210 \text{ t/km}^2/\text{an}$, soit une lame de sol équivalente de $0,15 \text{ mm/an}$ environ. Précisons, toutefois, qu'une partie parfois très importantes des matériaux érodés se dépose d'abord sur les bas de pente (colluvions), puis éventuellement dans les plaines d'inondation ce qui fait que cette estimation qui ne tient pas compte des mouvements locaux donne des valeurs inférieures à celles obtenues lors de mesures effectuées au champ.

CHAPITRE V

RAPPEL DES RESULTATS HYDROMETRIQUES OBTENUS de 1953 à 1956.

5.1. TARAGE DES STATIONS.

Nous avons dû admettre, afin de rattacher les échelles installées en 1953 et 1954 aux nouvelles stations, que l'étalonnage des moyennes et hautes eaux était resté relativement stable jusqu'en 1966 (voir paragraphe 2.1.1.). Les graphiques 74 à 77 semblent justifier, en première approximation cette hypothèse.

Dans les listes des jaugeages figurant, ci-dessous, les hauteurs d'eau ont été ainsi ramenées aux nouveaux systèmes d'échelles (1964), excepté pour le KALLIAO où les stations étaient trop éloignées.

5.1.1. TSANAGA à MAROUA

7 jaugeages ont été effectués en 1954 et 2 en 1955 - graphique 74.

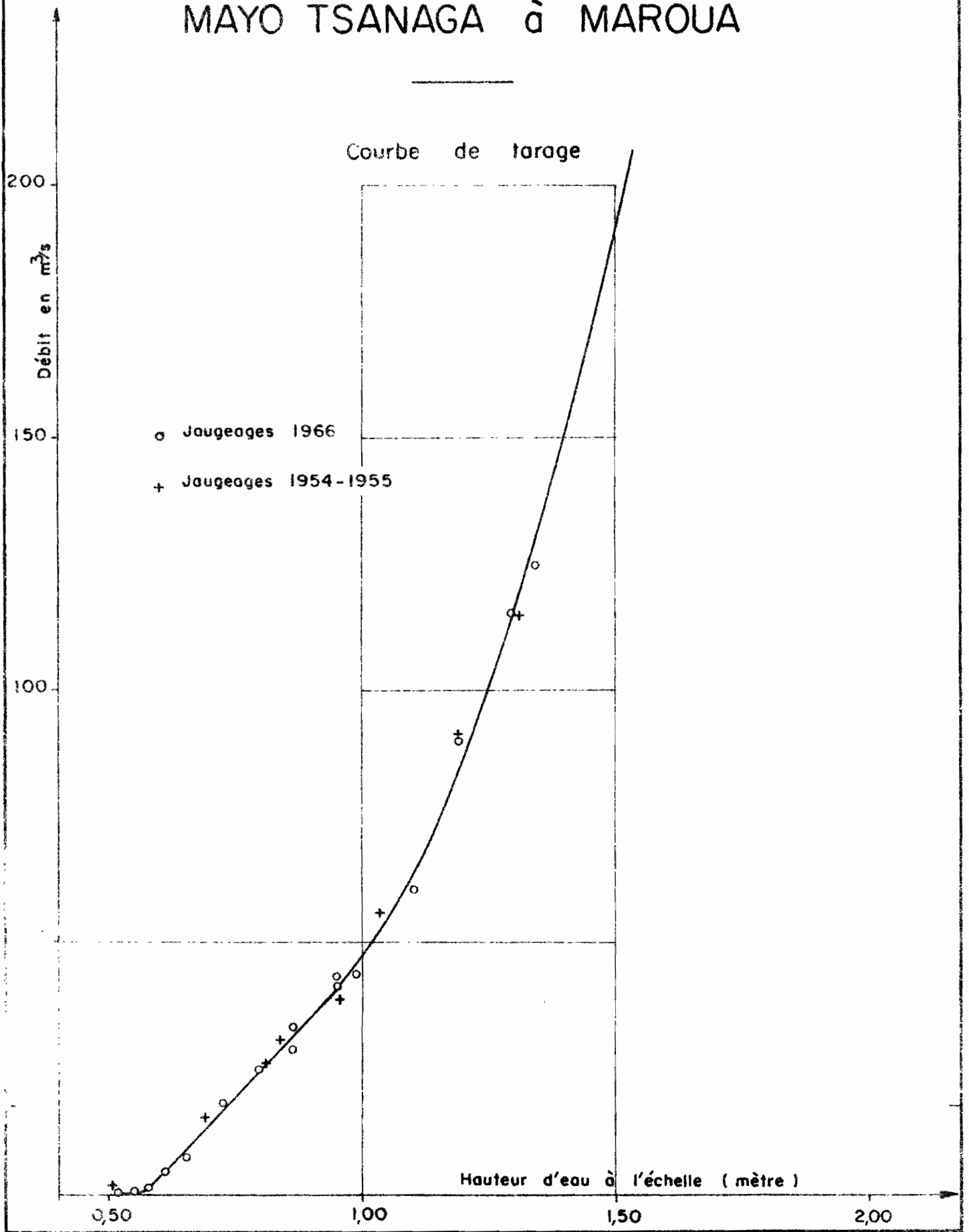
Date	Hauteur m	Débit m ³ /s	Date	Hauteur m	Débit m ³ /s
23.6.54	0,51	2,30 F	27.8.54	1,04	66,5 F
15.7.54	0,69	16,3	27.8.54	1,31	115 F
30.7.54	0,96	39,1	22.9.54	0,80	27,6
23.8.54	0,84	31,3	25.10.55	0,51	1,62
			22.8.55	1,18	90,5 F

F = jaugeage au flotteur

5.1.2. KALLIAO à MAROUA

17 jaugeages ont été effectués au cours de la période 1954 - 1956 - graphiques 75 et 76.

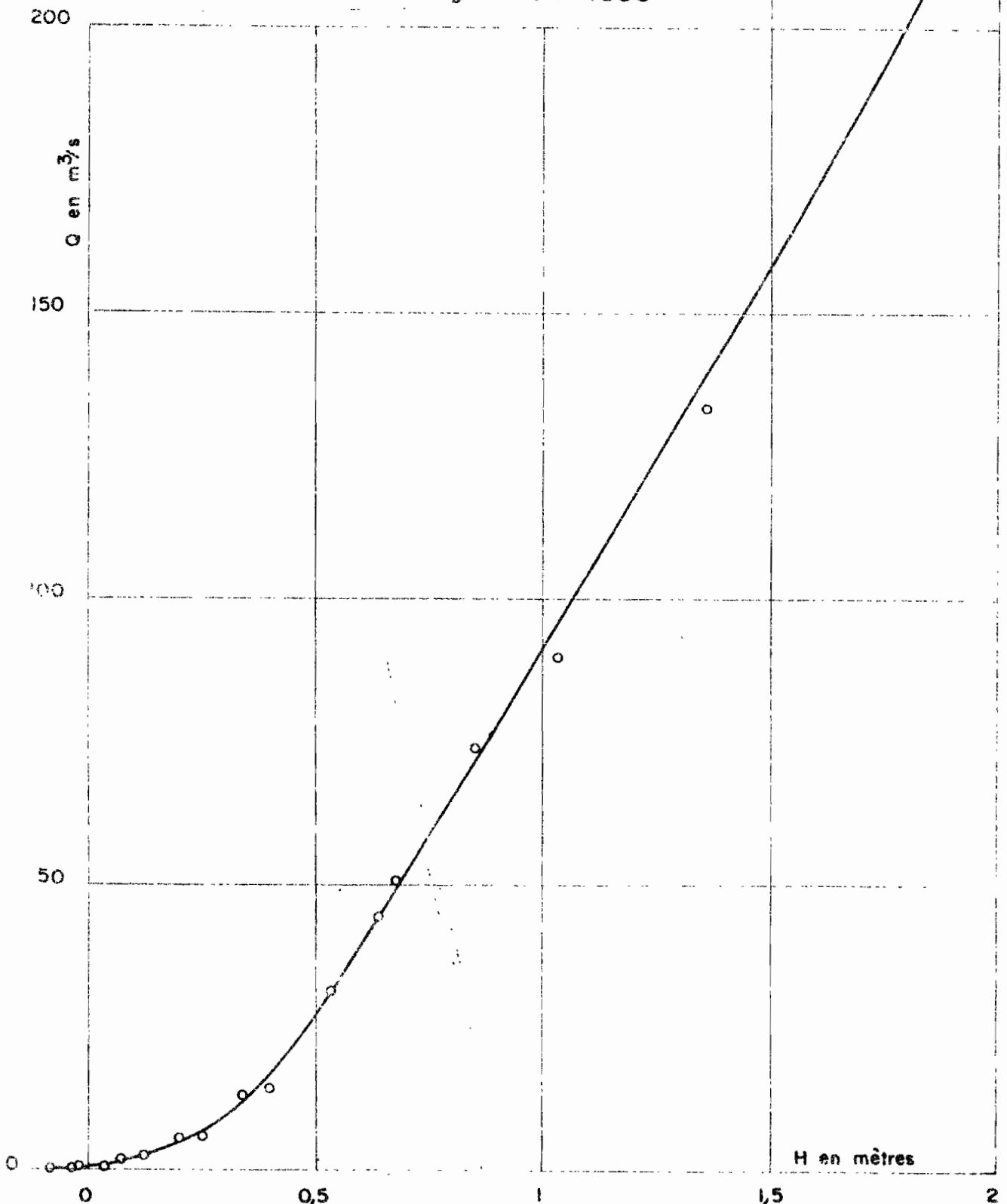
MAYO TSANAGA à MAROUA



Le MAYC KALLIAO à MAROUA

Echelle aval

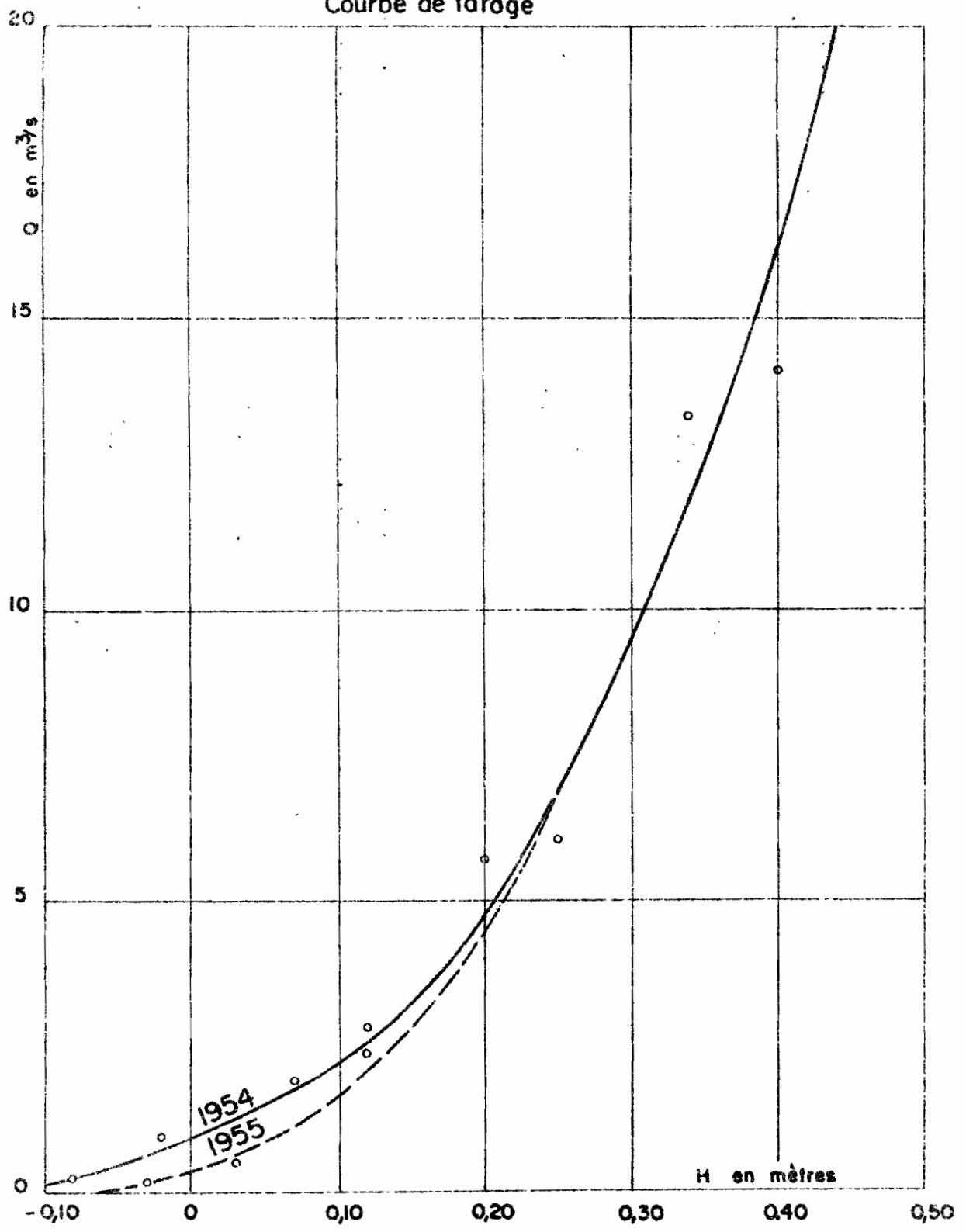
Courbe de tarage 1954 - 1956



Le MAYO KALLIAO à MAROUA

Echelle aval

Basses eaux
Courbe de taroge



Date	Hauteur m	Débit m ³ /s	Date	Hauteur m	Débit m ³ /s
28.6.54	-0,02	0,93	26. 8.54	0,64	44,1
28.6.54	0,12	2,39	26. 8.54	0,85	73,7
5.7.54	0,25	6	28. 7.55	0,68	50,4
7.7.54	-0,08	0,21	19. 8.55	1,03	99,7
13.7.54	0,40	14,1	19. 8.55	1,36	133
13.8.54	0,20	5,7	29. 9.55	0,12	2,8
16.8.54	0,07	1,9	13.10.55	0,03	0,48
25.8.54	0,34	13,3	26.10.55	0,03	0,15
26.8.54	0,53	31,3			

5.1.3. TSANAGA à BOGO.

8 jaugeages ont également été effectués au cours de la période 1953 - 1954 - graphique 77.

Date	Hauteur m	Débit m ³ /s	Date	Hauteur m	Débit m ³ /s
15.8.53	0,23	1,95	24. 7.54	0,55	12,9
26.8.53	0,52	11,5	6. 8.55	0,70	22,2
27.8.53	0,67	19,4	17. 8.55	1,32	91,3
			11.10.55	0,42	8,1
			3.11.55	0,22	0,20

5.2. OBSERVATIONS HYDRO-PLUVIOMETRIQUES - BILAN HYDROLOGIQUE.

Ces observations ont été exploitées lors de l'établissement de la Monographie du LOGONE à savoir :

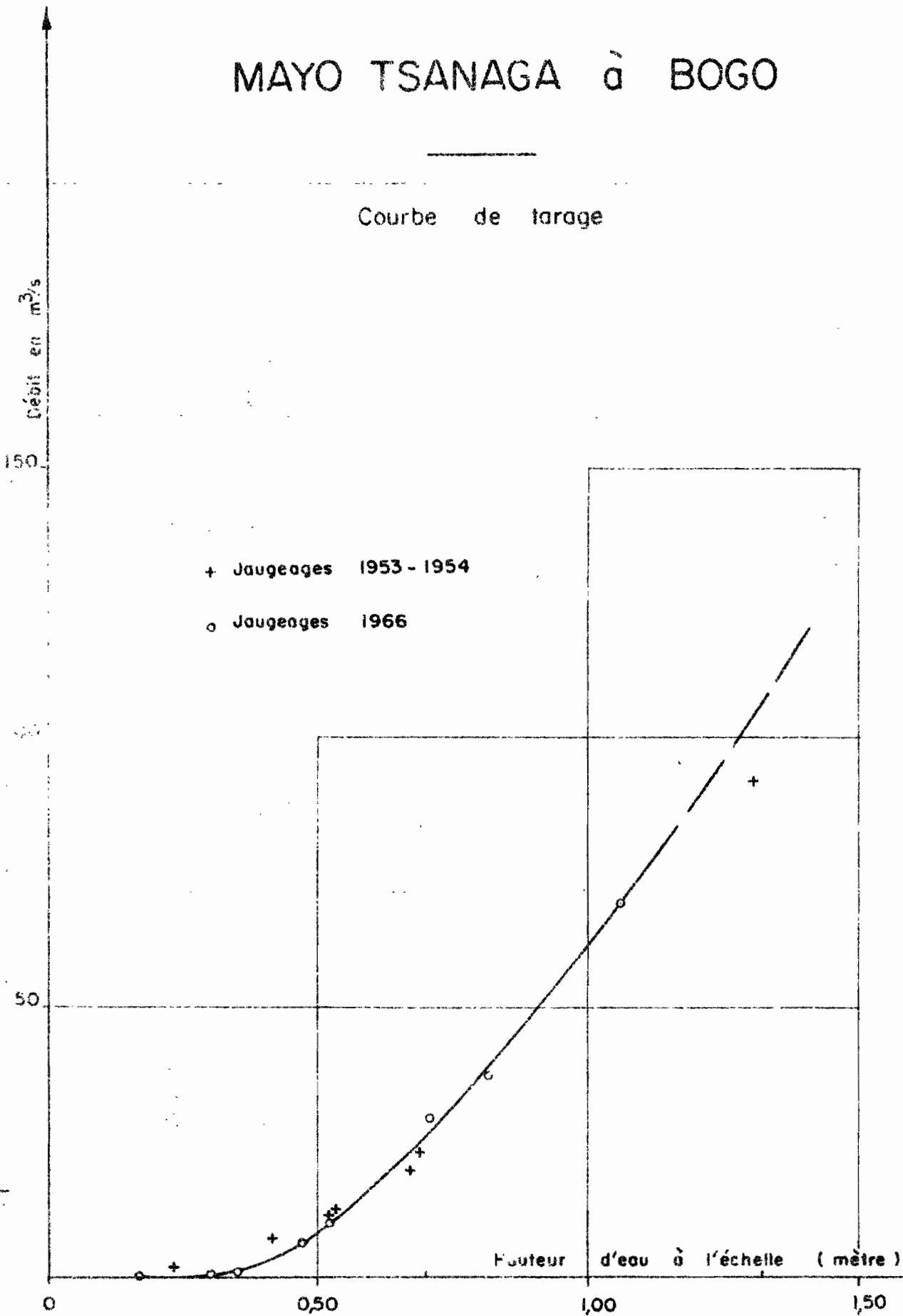
- La TSANAGA à MAROUA : 1954, 1955
- Le KALLIAO à MAROUA : 1954, 1955
- La TSANAGA à BOGO : 1953, 1954, 1955.

Il a été possible, à l'aide de ces données de calculer les coefficients et débits d'écoulement ainsi que les débits spécifiques.

Les précipitations annuelles ont pu être déterminées convenablement en 1955, un peu moins bien en 1954 et ne sont qu'une approximation pour 1953 - graphiques 78 et 79.

MAYO TSANAGA à BOGO

Courbe de tarage



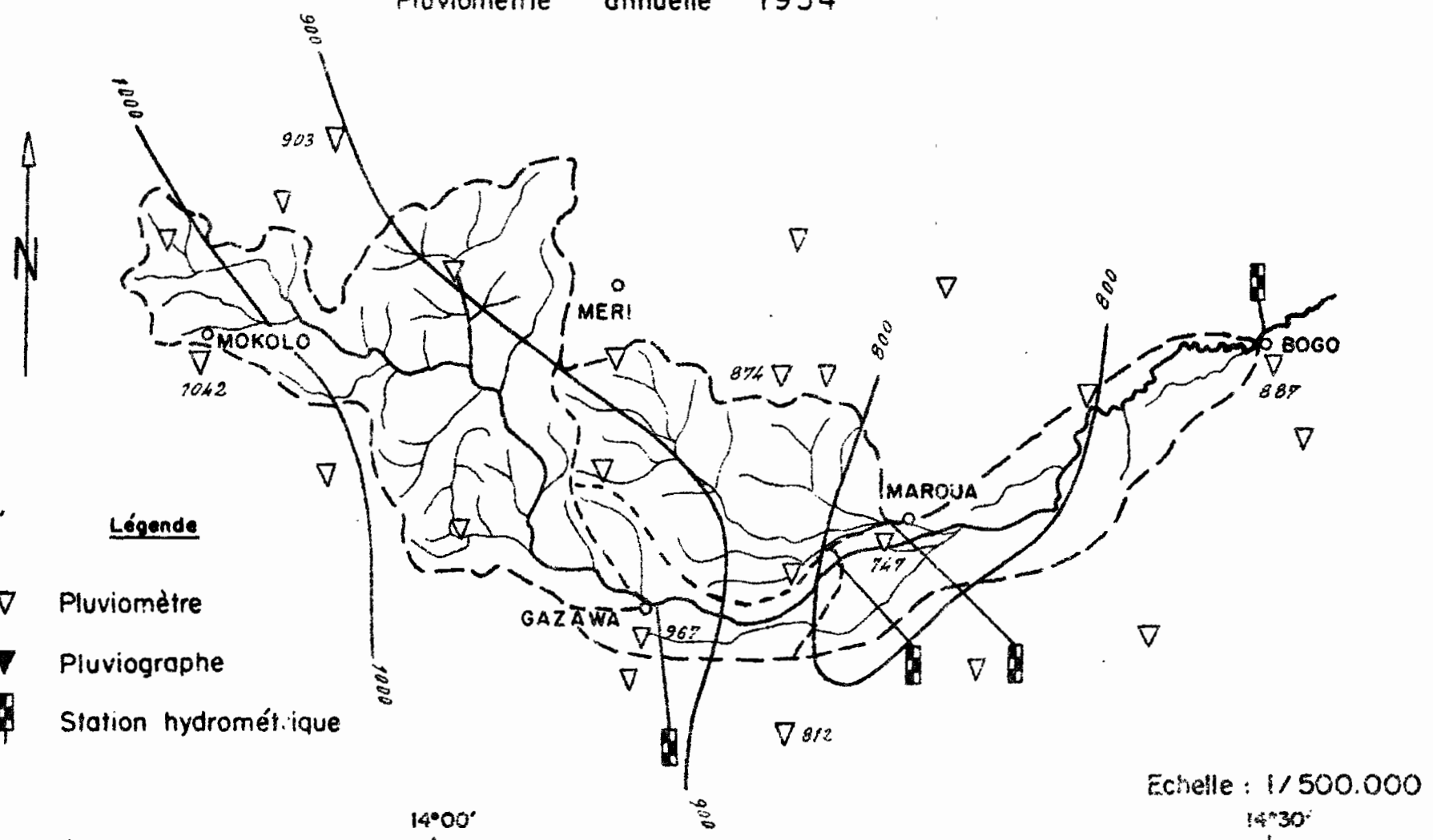
14°00'

14°30'

Gr.78

BASSIN VERSANT DU MAYO TSANAGA

Pluviométrie annuelle 1954



10°30'

10°30'

14°00'

14°30'

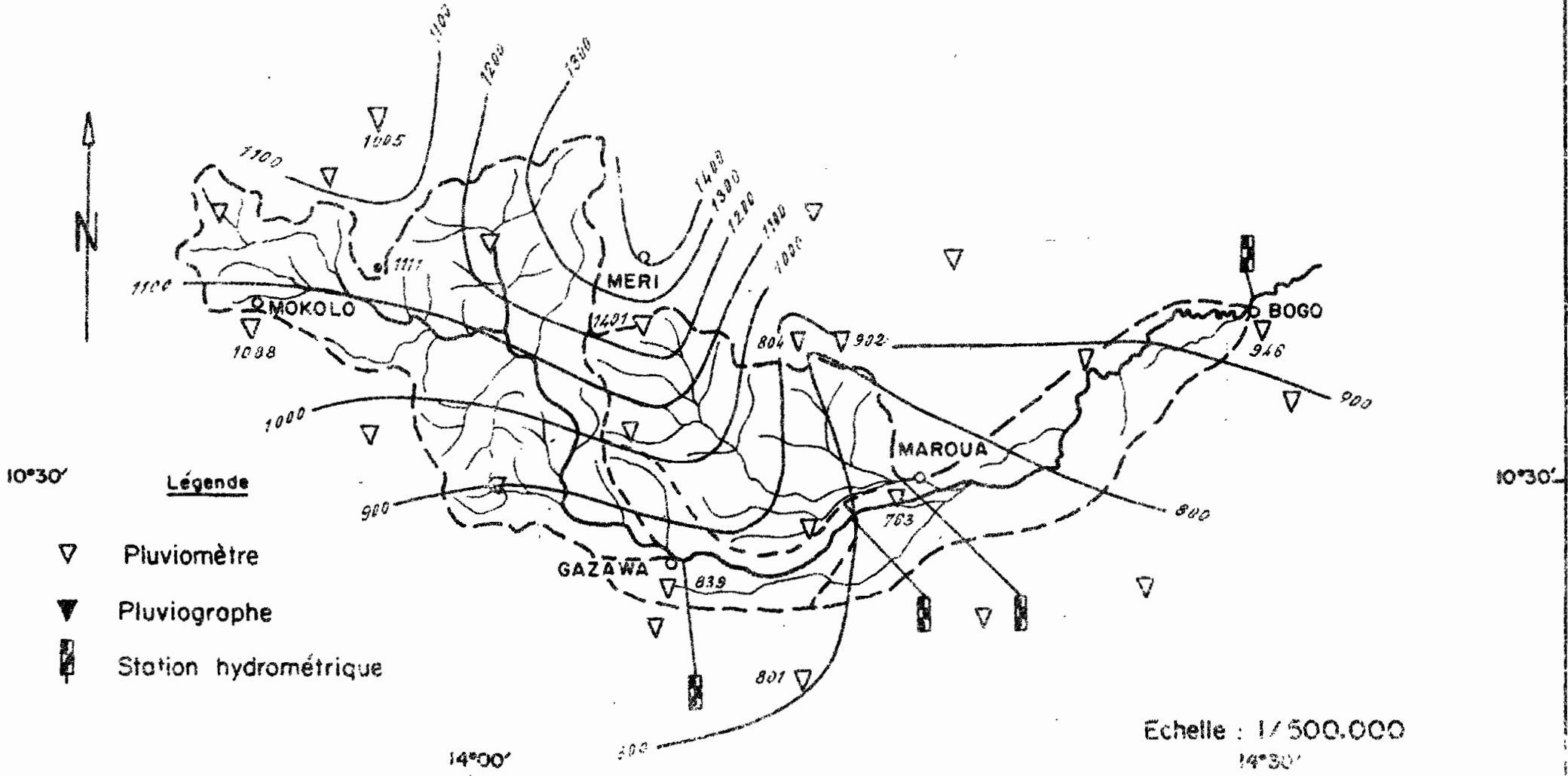
14°00'

14°30'

Gr.79

BASSIN VERSANT DU MAYO TSANAGA

Pluviométrie annuelle 1955



CARACTERISTIQUES DES ECOULEMENTS DU MAYO TSANAGA
DE 1953 à 1956

Station	Volume	Lame	Module annuel		Débit maximum		Pluvio-	Coef. fi	Défi-
	écoulé (10 ⁶ m ³)	équivalente (mm)	m ³ /s	l/s/km ²	m ³ /s	l/s/km ²	métré- annuel le (mm)	cient d'écou- lement (mm)	cit d'é- coul. (mm)
			<u>ANNEE 1953</u>						
Mayo TSANAGA à BOGO	76,3	50	2,3	1,5	110	72	(830)	6,0	(780)
			<u>ANNEE 1954</u>						
Mayo TSANAGA à BOGO	277,3	182	8,5	5,6	244	159	910	20,0	728
Mayo TSANAGA à MAROUA	225,5	273	7,1	8,5	160	189	935	29,2	662
Mayo KALLIAO à MAROUA	110,5	308	3,4	9,5	155	437	863	35,7	555
Mayo TSANAGA+KALLIAO à MAROUA	336,0	283	10,7	9,0			913	31,0	630
			<u>ANNEE 1955</u>						
Mayo TSANAGA à BOGO	317,4	208	9,5	7,6	200	130	991	21,0	783
Mayo TSANAGA à MAROUA	Relevés fragmentaires				132	156	1072		
Mayo KALLIAO à MAROUA	87,5	244	2,4	6,7	190	535	955	25,6	711
			<u>ANNEE 1956</u>						
Mayo KALLIAO à MAROUA	Relevés fragmentaires				360	1000			

Le MAYO TSANAGA à BOGO
Débits moyens journaliers (m³/s)
Année 1953

Jours	A	S	O
1		25,5	9,6
2		23,2	8,8
3		31,8	6
4		110	5,4
5		57	4,5
6		35	4,2
7		19,5	3
8		14	2,1
9		9,6	1,1
10		6,7	0,7
11	2,1	6	0,4
12	2,1	4,5	0,3
13	2,1	3,6	0,1
14	2,1	3	0
15	2,1	3,6	
16	2,6	3	
17	3	11,5	
18	5,4	8,1	
19	3,6	19,5	
20	3,6	28,6	
21	2,1	24	
22	2,1	85	
23	2,1	39	
24	2,1	23,2	
25	2,1	19	
26	8,8	19,5	
27	23,2	19,5	
28	13,5	14,5	
29	10,6	13,5	
30	7,4	9,6	
31	8,1		
!Débit moyen mensuel(m ³ /s)	(4)	23	1,5
!Volume écoulé (10 ⁶ m ³)	10,7	61,6	4,0

Le MAYO TSANAGA à BOGO
Débits moyens journaliers (m³/s)
Année 1954

Jours	J	J	A	S	O
1		4,9	33,4	49	1,9
2		1,8	16	168	2,4
3		1,9	10,6	56,1	1,4
4		0,7	7,8	31,8	0,7
5		2,8	39,6	22,5	0,7
6		11,8	145	19,5	4,5
7		8,3	42,4	14,5	1,6
8		4,5	21,8	14	0,7
9		10,9	28	9,8	0,5
10		8,5	77,3	14	0,4
11		19,8	32,6	12,6	2,3
12	3	14,5	24	8,5	1,2
13	0,6	20,9	29,4	7,1	0,5
14	0	23,9	18,8	6,4	0,3
15	0	21,8	14	7,8	0,1
16	0	13	18,5	10,3	0
17	0	8,1	13,5	12	0
18	0		10,1	12,5	0
19	0		110	15,3	0
20	10,6		116	68,2	0,3
21	2,6		53,4	78,3	0,9
22	6		84,2	31,8	0,8
23	4,2		77,5	18	0,1
24	2,1	16	39	14	0
25	0,7	16,5	90	11	0
26	1,6	10,1	32,6	9,2	0
27	0,7	43,5	101	7,8	0
28	0	32,8	169	6,4	0
29	0,7	23,3	217	5,1	0
30	16,5	24	85	3,9	0
31		82	81,1		0
Débit moyen mensuel (m ³ /s)	(1,6)	(17)	59,3	24,8	0,7
Volume écoulé (10 ⁶ m ³)	4,3	45,6	159,0	66,5	1,9

Le MAYO TSANAGA à MAROUA
Débits moyens journaliers (m³/s)
Année 1954

Jours	J	J	A	S	O
1	2,2	0	18,8	42,4	10,2
2	4,3	8,5	12,9	47,9	11,1
3	0	4,7	13,4	34,3	10,2
4	0	2,5	9,3	25	9,3
5	2,6	17,9	42,5	24	15,6
6	0,1	11,2	34,6	18,8	11,1
7	0,5	6,6	22,5	17,4	10,2
8	8,9	21	30,3	13,4	9,3
9	2,3	21,7	46	12	8,4
10	2,3	4,3	25,6	14,3	11,1
11	1,5	19,2	13,4	13,4	10,2
12	0,2	3,7	14,3	11,6	9,3
13	0	20,1	17,4	11,1	8,4
14	0	13,4	13,8	9,8	5,9
15	0	15,4	12,9	17	6,7
16	0	8,9	13,8	15,6	6,7
17	0	5,9	13,4	18	5,9
18	8,3	19,2	26,4	15,6	6,7
19	16,8	16,1	93	12,5	8,4
20	2,3	7,7	32,5	47,6	11,1
21	10,7	51,7	23,1	64,8	7,5
22	4,3	55,6	42,7	26	5,9
23	2	18,3	32,3	21	5,9
24	0,7	18,8	44	20,1	4,3
25	2,8	13,4	26,5	16,5	3,5
26	1,8	61,1	33,3	13,8	3,5
27	3,5	25	74	14,7	3
28	13	20,5	113	12,9	3
29	16,6	17,9	54	12	2,5
30	5,5	77	31,7	11,1	2
31		22	38,8		1,5
Débit moyen mensuel (m ³ /s)	3,8	19,7	32,9	21,2	7,4
Volume écoulé (10 ⁶ m ³)	9,8	52,8	88,1	55,0	19,8

Le MAYO KALLIAO à MAROUA
Débits moyens journaliers (m³/s)
Année 1954

Jours	M	J	J	A	S
1		1,03	3,50		38,1
2		2,37	1,42		14,5
3		1,10	0,80	1,75	3,7
4		0,76	9,85	1,49	1,88
5		13,6	28,6	56	0,90
6		1,03	2,05	27	
7		1,10	0,86	5	
8		1,03	22,4	17	
9		0,76	2,47	40	
10		0	21		2
11		4,83	25	3,40	0,90
12		0,83	3,12	3,70	
13		0	27	6,50	
14		0	1,42	2,67	
15		0	2,66	2,26	
16		0	1	1,88	8,5
17		0	50	1,55	16,4
18		0	33	15,3	0,90
19		6,50	2,13	103	
20		5,55	0,97	12,4	7,7
21		2,60	52	7,8	9,3
22		0,80	2,70	44	1,23
23		0	2,06	21,4	0,90
24		0	1,55	37,8	
25		0	1,03	20,5	
26		0	16,3	27,2	
27		0	8,55	45	
28		7,1	2,32	87	
29	1,03	20,2	1,75	17,5	
30	0,42	1,55	6,80	36,1	
31	0,76			12,7	
Débit moyen mensuel (m ³ /s)	(0,8)	2,7	10,7	23,5	3,8
Volume écoulé (10 ⁶ m ³)	2,1	7,0	28,7	62,9	9,8

Le MAYO TSANAGA à BOGO
Débiti moyens journaliers (m³/s)
Année 1955

Jours	J	J	A	S	O	N
1		0	13,2	30,8	24,7	1,8
2		0	35,7	18,7	20,2	1,4
3		0	30,4	79,3	29,7	1,1
4		0,9	17,5	90,3	33,1	
5		0,9	40,5	52	30,7	
6		0	20,7	37,3	27,3	
7		0	54	34	22,5	
8		0	53	73	19,4	
9		1,1	31,8	47,5	16,8	
10		6,8	21,5	33,1	17,5	
11		1,1	18,7	51,3	17,3	
12		0	21,5	52	17	
13		0,4	49,3	41	16	
14		0,4	68,7	154	13,8	
15		3	36,7	92,6	13	
16		0	97,7	55,5	11,5	
17	3	0	88	39	10,7	
18	0	12,8	58,9	34,3	10,3	
19	0	13,5	36,5	35,6	9,3	
20	0	7,5	67,5	38,7	8,5	
21	0	4,5	67,4	51,9	7,5	
22	0	6,5	120	44,4	6,7	
23	0	14,2	71,7	37,3	6,1	
24	11,6	7,5		29,4	5,5	
25	1,9	9,9	60,9	23,7	6,7	
26	0,5	8,9		21	8,2	
27	0	5		32,8	6,7	
28	0	7,1		100	5,8	
29	1,1	50,5		50,2	4	
30	0	38,3		34,6	3,3	
31		16,8			2,7	
Débit moyen mensuel (m ³ /s)	0,6	7	(49,3)	50,5	13,9	(0,1)
Volume écoulé (10 ⁶ m ³)	1,6	18,3	(128,8)	132,0	36,4	(0,3)

Le MAYO TSANAGA à MAROUA
Débits moyens journaliers (m³/s)
Année 1955

Jours	J	A	S	O	N
1	0	22	15,2	3,5	1
2	1,8	37,5	18,9	8,5	1
3	2,8	18,3	66,7	15,6	0,5
4	5,9	37,7	35,6	17	0,5
5	1,5	28	24,6	9,3	0,5
6	1,3	42	13,8	8,9	0,3
7		82	36,9	4,7	0,2
8		25,5	26	8,9	0
9	8,4	19,7		5,5	
10	3,3	19,2		3,5	
11	1,5	15,2		3,3	
12	9	47,9		3,9	
13	3	44,2		2,8	
14	2,3	27,5		1,3	
15	28,5	32,7		1,5	
16	11,2	59,3		1,5	
17		53,9		1	
18		32,5		0,5	
19	7,5	33,7		1	
20		29,8		3,5	
21		(60)			
22		84,1		4,3	
23		27,8	19,2	3,5	
24		28	16,5	3,5	
25	10,2	20,8	6,3	4,3	
26	10,7	31,2	4,7	7,5	
27	8,4	30	33,2	3,5	
28	16	18,8	44,6	(3)	
29	30,6	23,5	13,4	3	
30	23,5	22,4	3	2,5	
31	14,7	18,8		1,5	
Débit moyen mensuel (m ³ /s)		34,6		4,7	0,1

Le MAYO KALLIAO à MAROUA
Débits moyens journaliers (m³/s)
Année 1955

Jours	M	J	J	A	S	O	N
1	9,5		0,90	20,3	0,94	1,86	0,13
2	1,94		0,90	4,2	2,07	10,9	0,13
3	0,90		9,9	0,90	41	7,9	0,11
4			1,03	12,2	4,3	4,4	0,11
5			5,8	9,5	2,88	5,3	0,11
6			1,03	5,2	1,95	2,9	0,00
7			0,90	7,6	30	2,11	
8		11,7	0,90	4,2	5,7	1,86	
9		2,20	11,8	0,90	2,71	1,40	
10		1,42	0,90	0,90	9,8	1,25	
11		0,90	0,90	0,90	12,1	1,01	
12			1,49	31	3,6	0,86	
13			0,90	2,20	3,5	0,71	
14			0,90	16,2	37	0,71	
15			64	26,5	7,6	0,48	
16			1,33	48,6	4,2	0,45	
17		31	8,3	4,7	3,5	0,37	
18		2,90	1,16		2,88	0,32	
19	12,9	1,55	0,90	77	2,45	0,26	
20	2,20	1,03	0,90		3,04	0,26	
21	1,29	0,90	0,90		8,2	0,21	
22	0,90		3,2		3,3	0,21	
23			2,9		2,11	0,21	
24			1,42		1,63	0,15	
25			0,90		1,94	0,15	
26			0,90		1,51	0,15	
27			0,90		54	0,15	
28			32		6,8	0,13	
29		1,55	46	0,94	2,7	0,13	
30			1,55	1,17	2,36	0,13	
31			0,90	0,94		0,13	
Débit moyen mensuel (m ³ /s)	1	(1,8)	6,7	(13,1)	8,9	1,5	0,02
Volume écoulé (10 ⁶ m ³)	2,7	4,7	17,9	35,1	23,1	4,0	0

5.3. CRITIQUE DES RESULTATS.

Bien que ne **disposant** que de deux ou trois années d'observation suivant les stations, les résultats obtenus au cours de la période 1953 - 1955 semblent moins homogènes que ceux observés de 1966 à 1970, sans qu'il soit possible de dégager une tendance très nette :

1953 : très faible hydraulicité observée à la station de BOGO, alors que les précipitations semblent à peine inférieures à la moyenne.

1954 : faibles débits de crues, mais forte hydraulicité aux trois stations, précipitations supérieures à la moyenne.

1955 : débits de crues relativement faibles à MAROUA, hydraulicité forte sur le KALLIAO, à peine supérieure à la normale sur la TSANAGA à BOGO, précipitations largement excédentaires sur les trois bassins.

Il est à noter que c'est la station du KALLIAO où le tarage est le plus délicat et par la même le plus imprécis qui présente la plus forte dispersion dans les résultats. Les valeurs extrêmes doivent donc être maniées avec beaucoup de prudence.

Précisons que les débits de crues ont probablement été, systématiquement, sous évalués, les relevés de cotes n'étant faits généralement que deux fois par jour.

A N N E X E S

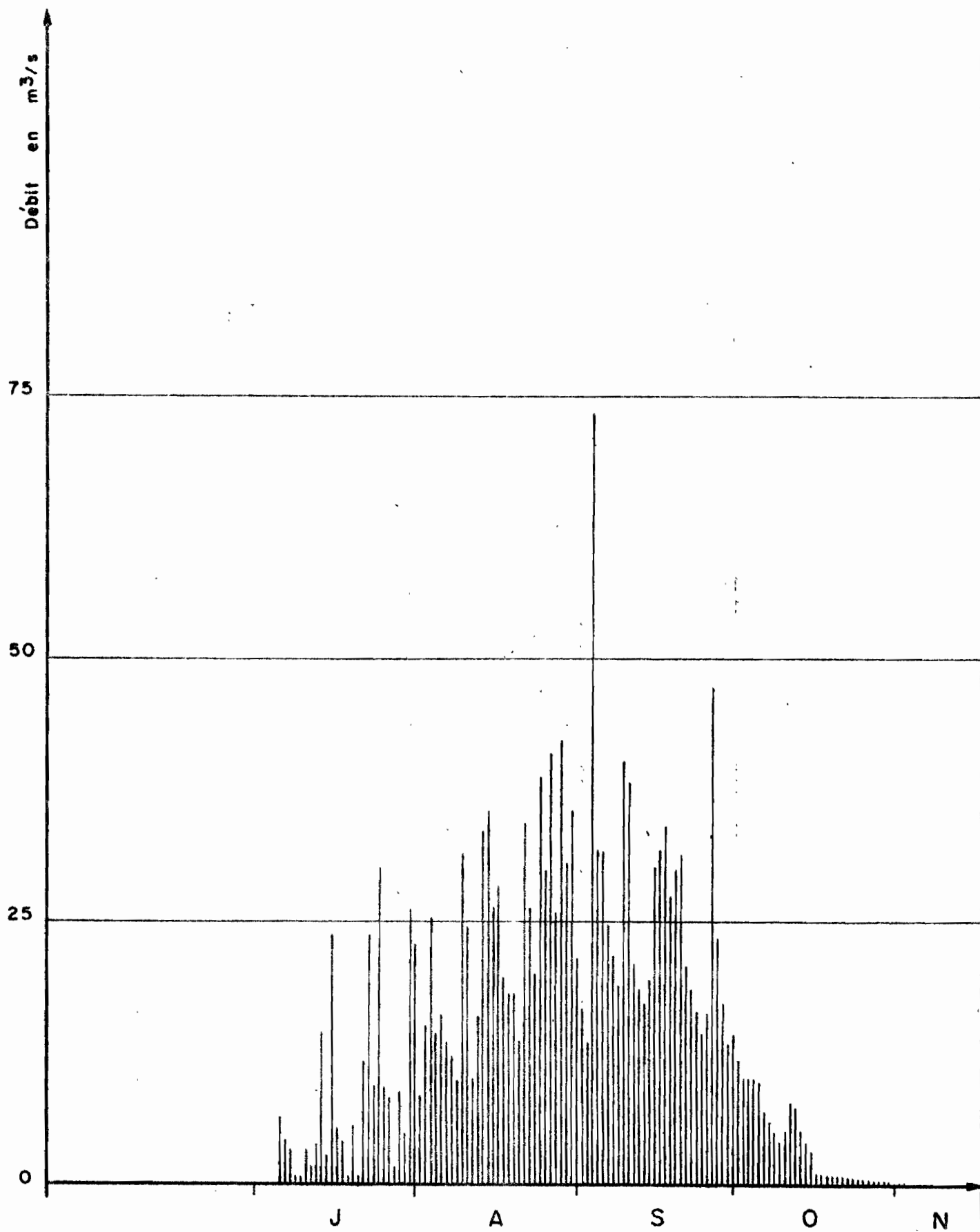
B I B L I O G R A P H I E

- P. DUBREUIL.- Hydrologie de surface dans le DIAMARE - ORSTOM - Service hydrologique - PARIS - Août 1962.
- B. BILLON, A. BOUCHARDEAU, M. ROCHE, J. RODIER.- Monographie hydrologique du LOGONE - 6 parties - ORSTOM - Service hydrologique - PARIS - 1967.
- J. CALLEDE, G. DELFIEU.- Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun. Le Bassin du Mayo TSANAGA - Campagne 1966. Ronéo YAOUNDE - Avril 1967.
- J.F. NOUVELOT, G. DELFIEU.- Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun. Le Bassin du mayo TSANAGA - Campagne 1967. Ronéo YAOUNDE - Janvier 1968.
- J.F. NOUVELOT.- Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun - Cahiers ORSTOM - série hydrologie - vol. VI, n° 4, 1969.
- J.F. NOUVELOT.- Complément à l'étude des transports solides en suspension au Cameroun - Ronéo YAOUNDE - Octobre 1970.
- E. CADIER.- Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun - Bassin versant représentatif du MOTORSOLO - rapport définitif. Ronéo YAOUNDE - 1971.
- R. LEFEVRE.- Mesure de l'inféro-flux du mayo TSANAGA. Ronéo YAOUNDE.
- J.F. NOUVELOT.- Méthodologie pour la mesure en réseau des transports solides en suspension dans les cours d'eau intertropicaux peu chargés. Cahiers ORSTOM - série Hydrologie - vol. IX, n° 1, 1972.
- J.F. NOUVELOT.- Le régime des transports solides en suspension dans divers cours d'eau du Cameroun de 1969 à 1971. Cahiers ORSTOM - série Hydrologie - vol. IX, n° 1, 1972.

TABLEAU VI
 TSANAGA à MAROUA
 ANNEE 1966

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		A		S		O		N		D	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1			22,7		21,5		14,2		0,06			
2			8,9		16,7		11,7		0,01			
3			15,0	21,8	13,4	178	10,0		0			
4			25,2	38,2	73,2		10,0					
5			14,1	16,4	31,8		10,0					
6	(6,4)	12,1	16,0	23,9	31,6	37,1	9,6					
7	4,1	8,9	13,5		24,6		6,9					
8	3,3	11,0	12,1		21,8		5,9					
9	0,7	3,0	9,7		18,9		4,9					
10	0,6		31,4	67,9	40,2	89,5	3,9					
11	3,3	6,9	24,4		38,2	58,2	4,9					
12	1,6	3,9	10,0		21,0		7,6					
13	3,8		15,9		18,5		7,2					
14	14,4	60,0	33,5	51,8	17,1		4,9					
15	2,6	12,1	35,4	56,3	19,4	22,8	3,9					
16	23,6	47,4	26,2		30,1	43,9	3,0					
17	5,3		28,2	43,9	31,8	43,9	1,0					
18	4,0	6,9	19,6		34,0	47,8	0,90					
19	0,6		18,0	29,4	27,4		0,84					
20	5,5	10,0	18,0		29,9	42,8	0,78					
21	0,8		13,5		31,3	41,6	0,72					
22	11,7	28,3	34,2	45,1	20,7		0,66					
23	23,6	43,9	26,1		18,5		0,60					
24	9,3		19,9		16,4		0,54					
25	30,0	60,0	38,6	54,7	14,2		0,48					
26	9,2		29,7		16,2	92,2	0,42					
27	8,1	10,0	41,0	63,5	47,3		0,36					
28	1,5		25,8		23,4		0,30					
29	8,8	18,5	42,1	67,9	17,2		0,24					
30	4,7		30,5		13,2		0,18					
31	26,1	61,7	35,5	53,2			0,12					
Débit mens. moy.	8,2		23,7		26,0		4,1		0			



TSANAGA à MAROUA

Débits moyens journaliers en 1966

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

--

TABLEAU VII
KALLIAO à MAROUA
ANNEE 1966

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		A		S		O		N		D
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	
1			2,6		4,9	23,4	0,4				
2			0,2		2,3		0,4				
3			5,9	17,6	1,0		0,4				
4			1,8		8,1	19,2	0,4				
5			0,2		2,2		0,2				
6		20,0	0,1		5,5	9,6	0,2				
7	12,8	95,1	0,3		2,0		0,2				
8	8,7		2,6	7,1	1,4		0,2				
9	2,3	12,0	1,0		0,8		0,2				
10	4,1	15,2	46,2	182	3,3	7,9	0,2				
11	0,1		4,9		3,6	9,6	0,1				
12	0,1	22,5	1,2		0,8		0,4	0,5			
13	2,4		17,7	99,7	1,5	2,3	0,2				
14	4,1		5,5		1,0		0,1				
15	2,4	4,8	1,6		2,7	19,2	0,1				
16	6,1	27,5	2,2	10,4	5,8		0,090				
17	0,4		8,4	24,8	2,3		0,070				
18	0,6	1,9	1,3		33,5	125	0,050				
19	0,1		0,8		4,2		0,030				
20	1,3	4,8	0,4		(8,9)	(29,7)	0,02				
21	0,1		0,7		8,5		0,01				
22	4,4	23,4	17,5	37,7	1,9		0				
23	1,4		3,1		1,6		0				
24	0,1		4,2	11,2	1,2		0				
25	1,8	5,3	27,2	99,7	0,8		0				
26	0,1		6,9	41,8	6,6	29,7	0				
27	0		9,2		4,2		0				
28	0		22,4	50,5	1,6		0				
29	0,4	1,6	7,9		1,0		0				
30			(14,4)	(33,9)	0,6		0				
31	42,9	13,5					0				
Débit mens moyen	(3,8)		7,1		4,1		0,1				

Débit en m³/s

40

30

20

10

0

J

A

S

O

KALLIAO à MAROUA

Débits moyens journaliers en 1966

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

--

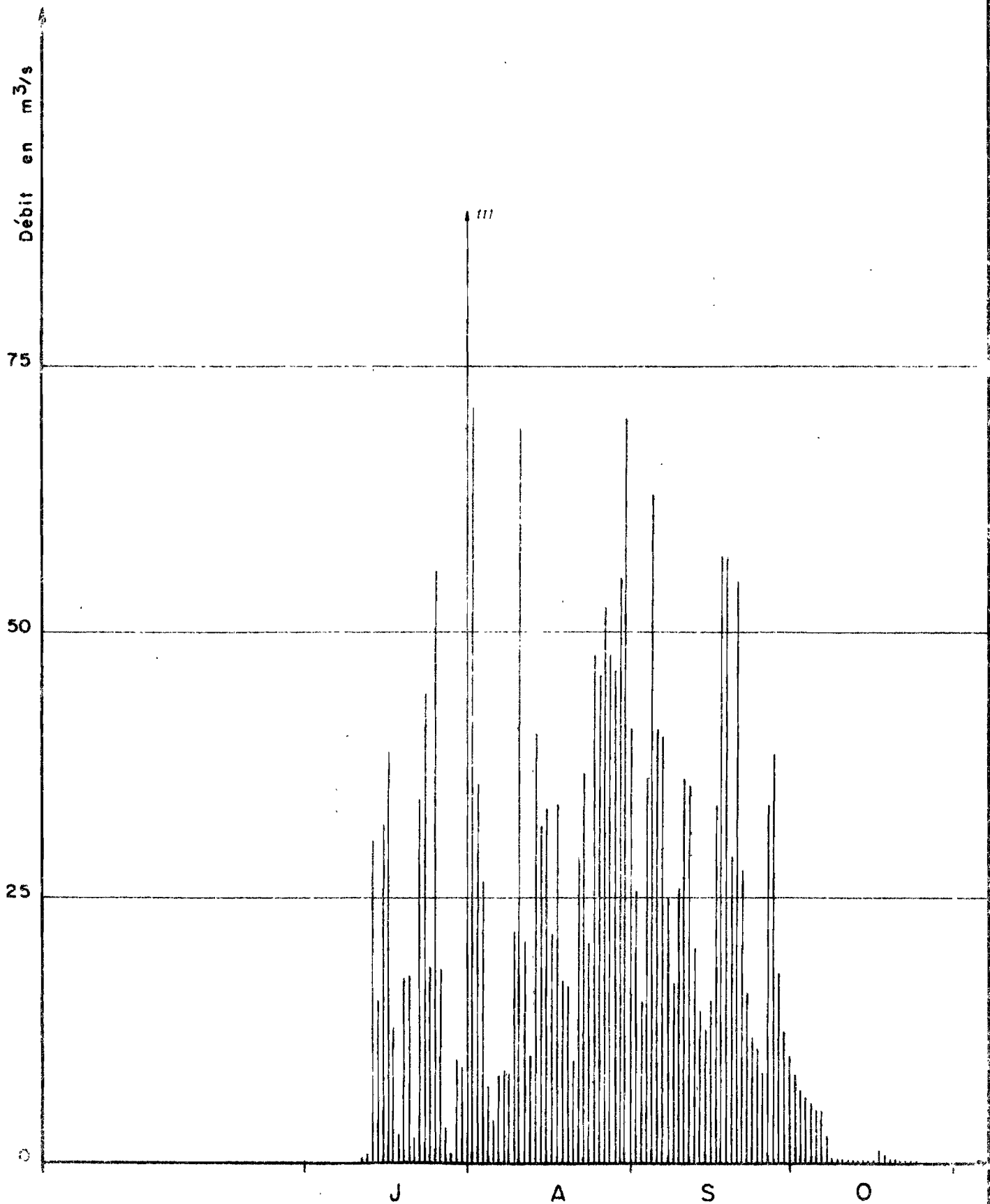
TABLEAU VIII

TSANAGA à BOGO
ANNEE 1966

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		A		S		O		N		D
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	
1			111	123	40,8		10,0				
2			71		25,6	34,0	8,4				
3			35,7		15,1		6,8				
4			26,5		36,1	112	6,1				
5			7,3		62,9		5,5				
6			4,0		40,7		4,9				
7			8,4		40,0		4,9				
8			8,8		24,9		2,5				
9			8,4		16,9		0,4				
10			21,7	118	25,8	56,5	0,3				
11			69		36,1		0,2				
12	0,5		20,9		35,5		0,2				
13	0,7		10,0		20,1		0,3				
14	30,2		40,4	65,5	14,2		0,2				
15	15,2		31,7	45,5	12,4		0,2				
16	31,8		33,3		15,1		0,1				
17	38,6		21,5		33,5		0,1				
18	12,7		33,6		57,0	109	1,1				
19	2,7		17,2		57,2		0,7				
20	17,4		16,6		28,7		0,3				
21	17,6		9,8		54,7	68,3	0,3				
22	2,4		28,8	61,5	27,5		0,2				
23	34,2		36,6		16,0		0,1				
24	44,1		20,7		11,6		0,1				
25	18,4		47,8	75,0	10,8		0,1				
26	55,7	68,3	45,8		8,4		0				
27	18,2		52,3	69,6	33,7	66,9	0				
28	3,3		47,9		38,4		0				
29	0,8		46,4	62,9	17,9		0				
30	9,7		54,9		12,4		0				
31	9,0		70				0				
Débit mens moyen	18,2		34,5		29,0		1,7				

module : 7,0 m³/s



TSANAGA à BOGO

Débits moyens journaliers en 1966

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

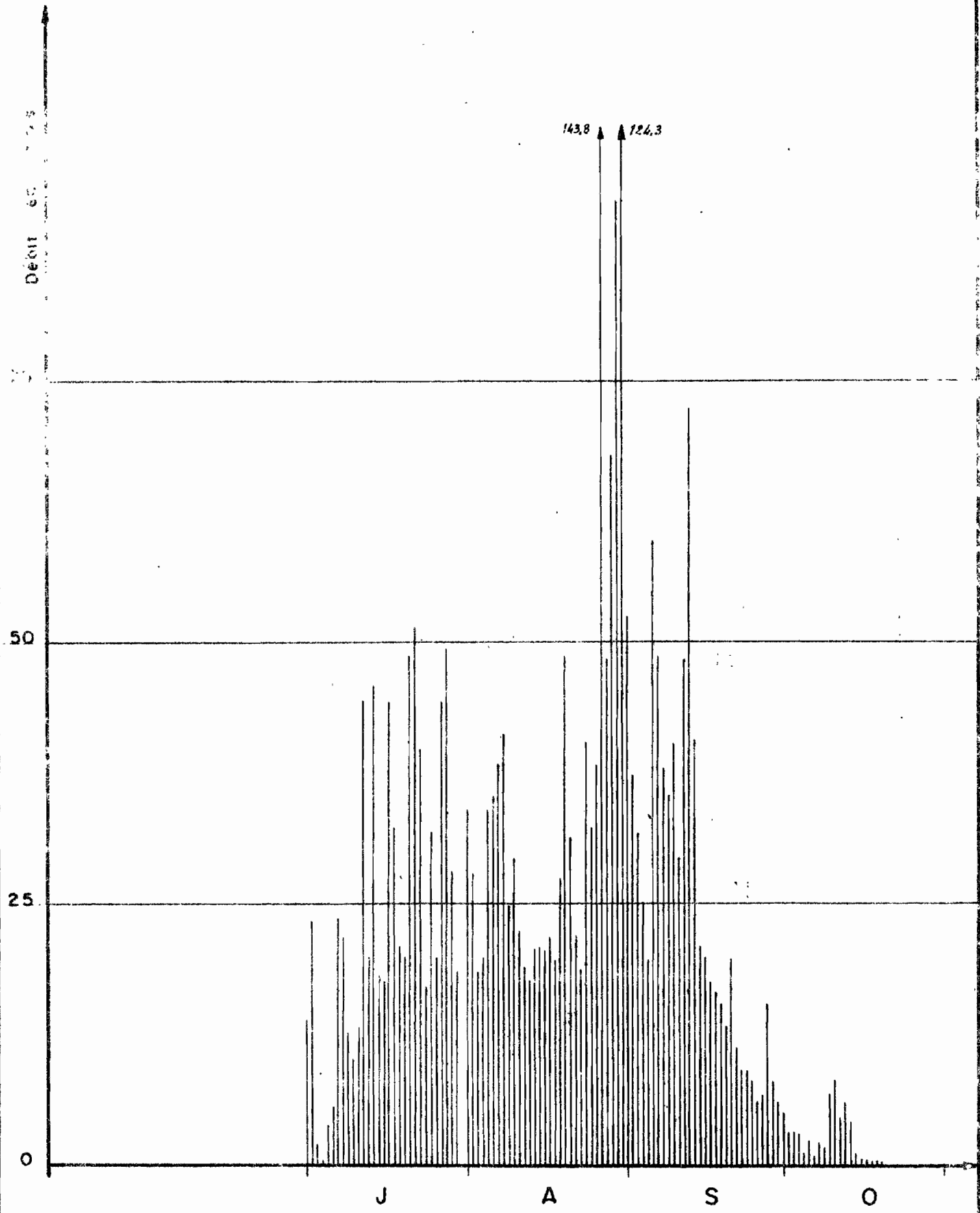
TABLEAU IX

TSANAGA à MAROUA
ANNEE 1967

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		A		S		O		N		D
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	
1	13,7		33,8		52,3		4,9				
2	23,2	53,2	27,7	60,0	37,1		3,0				
3	2,0		18,3		31,6		3,0				
4	0,4		19,6		25,0		2,8				
5	3,6		33,8	63,5	19,6		1,0				
6	5,5		35,1		59,7		2,1				
7	23,5		38,3	71,5	48,7	137	0,6				
8	21,6	46,2	41,2	67,5	37,8		2,0				
9	12,5	60,0	24,6		35,2	54,9	1,5				
10	10,0		29,2		40,2	47,4	6,6	18,5			
11	13,0		22,2		29,3		8,0	11,4			
12	44,3	110	18,7		48,2	60,0	4,4				
13	19,7		17,5		72,3	189	5,9				
14	45,7	131	20,5	31,6	40,5		4,0				
15	18,0		20,8		20,7		1,0				
16	17,4		20,4	27,2	19,6		0,5				
17	44,2		21,6	29,4	17,4		0,49				
18	32,2	156	18,5		16,4		0,20				
19	20,7		27,3		15,3		0,20				
20	19,6		48,5	73,5	13,1		0,10				
21	48,5		31,3		19,5	23,9					
22	51,3	128	21,7		11,0						
23	34,6	189	18,5		8,9						
24	16,8		40,4	77,5	8,9						
25	31,8		32,2		7,9						
26	19,7	65,0	38,1		5,9						
27	44,2		143,8	313	6,5						
28	49,2	156	48,2		15,2	23,9					
29	27,9		67,8		7,9						
30	18,3		92,0	119	5,9						
31			124,3	198							
Débit mens moyen	23,6		38,5		25,9		1,69				

module : 7,55 m³/s.



TSANAGA à MAROUA

Débites moyens journaliers en 1967

TABLEAU X

KALLIAO à MAROUA
ANNEE 1967

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O		N
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	-----
1			2,25		1,30		12,1		0,39		
2	!	!	2,85	11,0	0,200		6,20		0,24		!
3	!	!			0,100		4,10		0,19		!
4	!	!			0,09		2,70		0,17		!
5	!	!			0,35		2,60		0,16		!
6	!	!	1,99		8,13	24,3	59,7	141	0,15		!
7	!	!	1,35		17,8	78,0	13,0		0,14		!
8	!	!			15,1		8,94		0,13		!
9	!	!	1,72		2,30		7,92		0,12		!
10	!	!	1,80		0,80		13,3		10,4	34,1	!
11	!	!			0,15		13,4		3,95		!
12	!	1,50	7,81	25,0	5,47	16,4	37,8	147	0,32		!
13	!	!	5,55		2,60		23,1	63,0	0,19		!
14	!	!	3,18	20,0	1,75		5,80		0,55		!
15	!	!	3,24		1,30		2,23		0,14		!
16	!	!	0,40		1,45		1,45		0,10		!
17	!	!			1,70		1,35		0,10		!
18	!	!	30,9	160	1,20		1,23		0,08		!
19	!	!	7,29		15,8	52,0	0,75		0,06		!
20	!	!	16,6	64,6	23,0	59,4	0,55		0,04		!
21	!	!									!
22	!	!	4,05		6,70		0,39		0,03		!
23	!	!	22,4	77,6	3,00		0,24		0,02		!
24	!	!	16,2	44,5	2,60		0,22		0,01		!
25	!	!	1,30		28,2	112	0,17				!
26	!	0,90	1,35		5,80		0,14				!
27	!										!
28	!		0,40		26,0		0,14				!
29	!		0,05		51,0	186	17,3	77,6			!
30	!	0,20	6,99		22,4	52,0	1,86				!
31	!		9,73	23,7	61,4	183	0,65				!
	!		5,80	14,4	43,8	89,0	0,50				!
	!		1,50		73,4	217					!
bit mens oyen	0,09		5,05		13,7		7,99		0,57		!

module : 2,3 m³/s.

Débit en m³/s

75

50

25

J

J

A

S

O

KALLIAO à MAROUA

Débits moyens journaliers en 1967

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

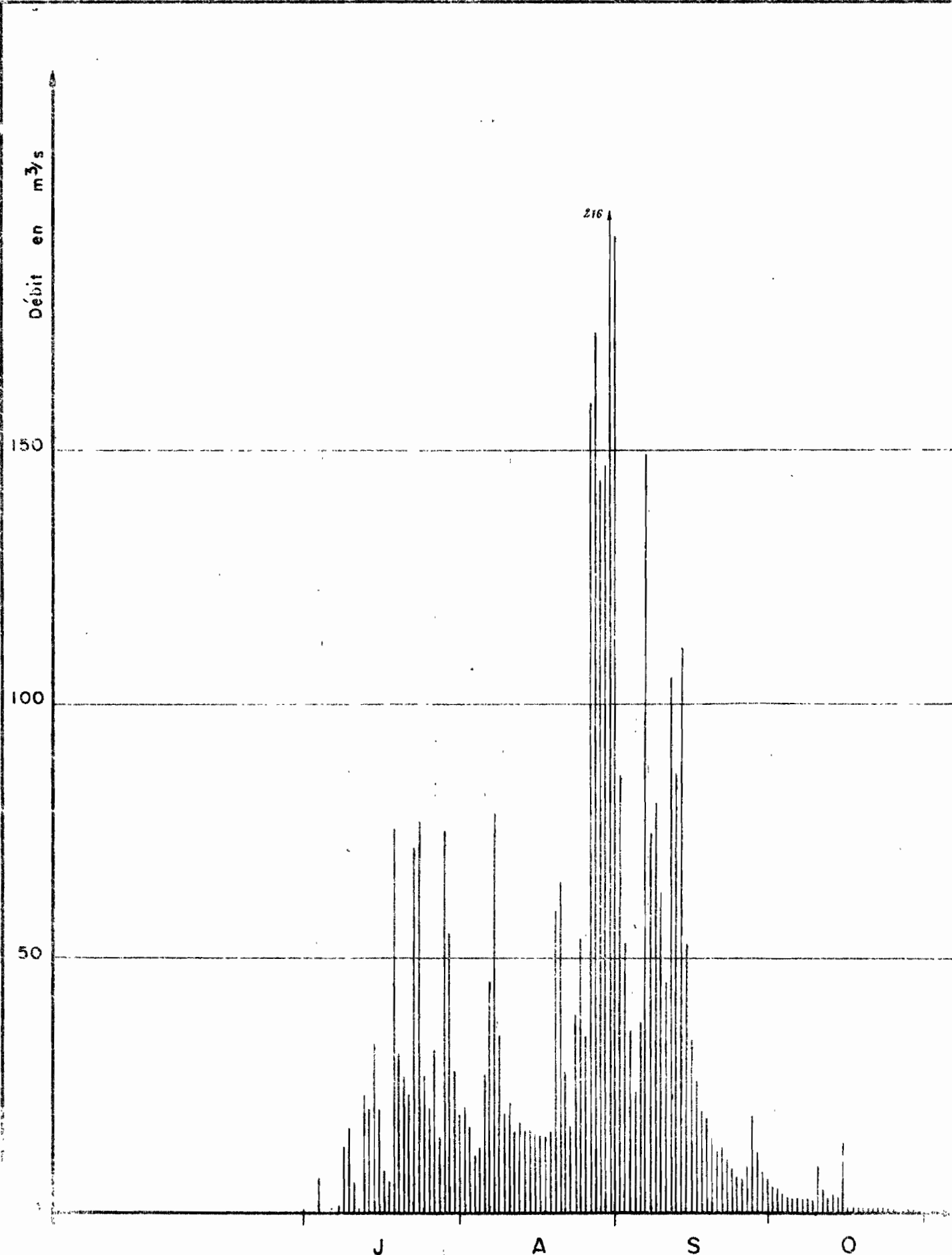
--

TABLEAU XI
TSANAGA à BOGO
ANNEE 1967

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		A		S		O		N		D
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	
1			18,9		192	270	6,1				
2			20,6		85,9		4,9				
3			16,4		52,7		4,3				
4	6,4		11,0		35,4		3,3				
5			12,3		23,5		2,6				
6			26,9	39,4	37,1		2,3				
7			45,1	63,0	149	191	2,5				
8	0,9		78,4	107	74,4		2,15				
9	12,3		34,8		80,2		2,16				
10	16,3		19,1		62,9		1,90				
11	5,5		21,4		45,0		8,4				
12	0,40		15,7		105	163	4,3				
13	22,9	60,3	17,4		86,0		2,5				
14	20,1		15,8		111	160	3,3				
15	33,0	70,5	16,0		52,5		2,7				
16	20,0		15,4		33,8		1,35				
17	8,0		14,9		25,6		0,85				
18	5,9		14,8		19,8		0,70				
19	75,4	134	15,6		18,2		0,50				
20	31,2		59,4	104	14,2		0,35				
21	26,5		64,8		11,8		0,42				
22	22,9		27,4		12,6		0,23				
23	71,9	109	16,6		10,0		0,17				
24	76,8	122	38,8	77,7	8,4		0,15				
25	26,8		53,5	81,1	6,8		0,12				
26	20,2		34,5		6,1		0,10				
27	31,8		159		8,4		0,08				
28	14,7		173	237	18,9		0,06				
29	74,8	122	144	194	11,6		0,04				
30	54,7	79,4	147		7,5		0,02				
31	27,6		216				0,01				
Débit mens moyen	22,8		50,5		46,9		1,89				

module : 10,1 m³/s.



TSANAGA à BOGO

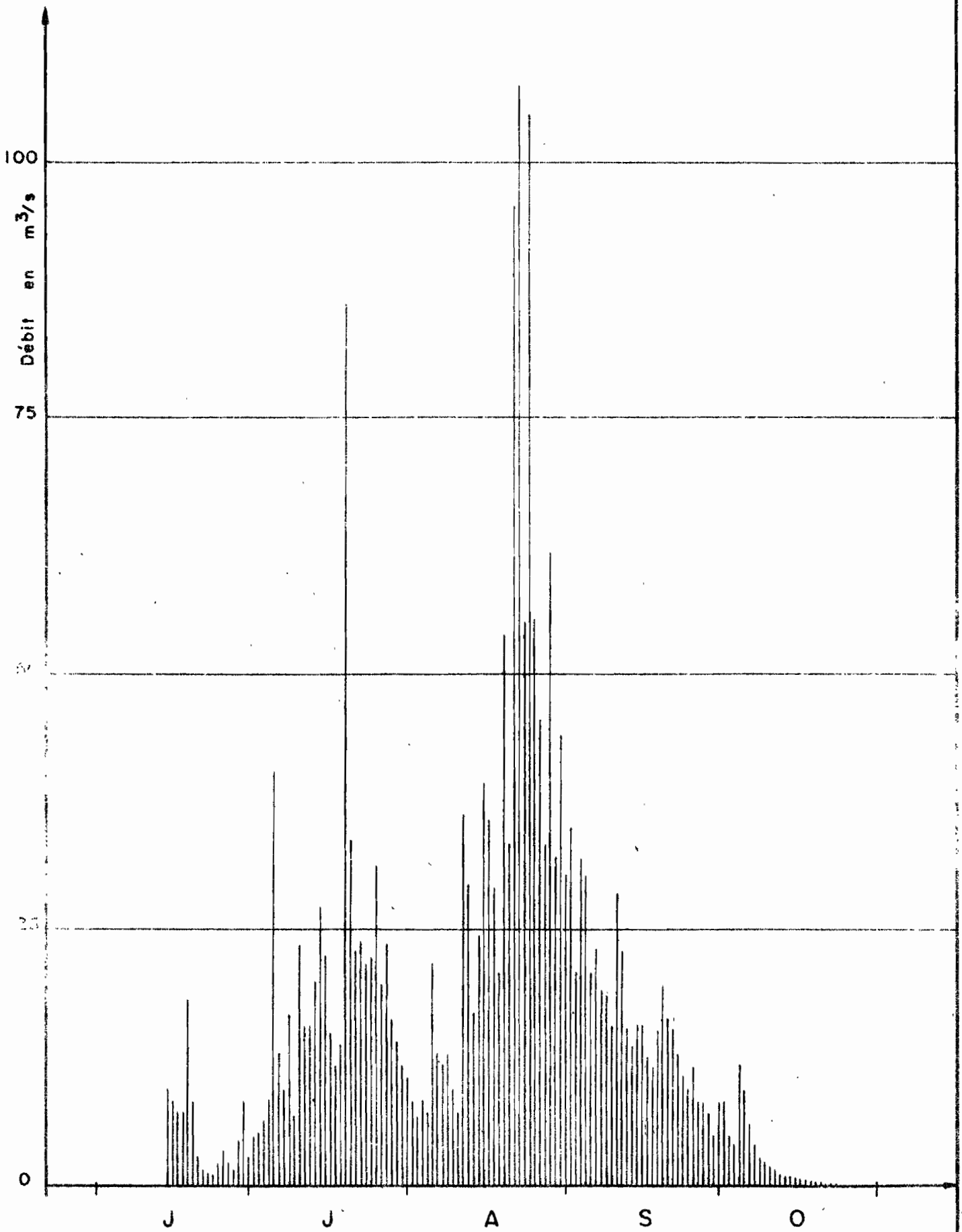
Débits moyens journaliers en 1967

TABLEAU XII
TSANAGA à MAROUA
ANNEE 1968

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O		N	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1			2,6		10,5		30,4		8,0			
2			4,6		8,1		34,9		8,1			
3			5,0		6,5		20,7		4,8			
4			6,3		8,1		31,8		3,9			
5			8,3		7,0		30,2		11,8			
6			40,3	100	21,7	35,5	20,7		9,3			
7			12,9		12,8		23,0		5,9			
8			9,2		11,7		19,0		3,9			
9			16,6	37,1	12,8		18,5		2,6			
10			6,7		9,3		15,5		2,1			
11			23,5	41,6	7,0		28,5	41,6	1,7			
12			15,4		36,3	67,5	22,8		1,4			
13	65,0		15,4	25,0	29,4		15,2		1,00			
14		60,0	19,8		16,8		13,4		0,840			
15	9,3		27,0	41,6	24,3	33,8	11,7		0,710			
16	8,1		22,4		39,3	82,5	15,2		0,590			
17	7,0		14,7		35,8	56,5	12,5		0,500			
18	7,0		11,6		29,0		11,5		0,410			
19	18,0	34,9	13,6		20,7		15,0		0,340			
20	8,1		86,2	177	53,9	107	19,6		0,280			
21	2,6		33,8		33,3		16,2		0,160			
22	1,4		22,8		95,8		15,2		0,045			
23	1,1		23,9	34,9	107,5	219	12,8		0,009			
24	0,9		21,8		55,0		10,7		0,002			
25	2,0		22,1		104,8	245	9,3					
26	3,2		31,3	50,3	55,3		11,5					
27	2,1		19,6		45,5	56,5	8,1					
28	1,4		23,6		33,3		8,0					
29	4,2		16,3		61,8	137	7,0					
30	8,1		14,0		32,0		4,8					
31			11,7		44,0	60,0						
Débit mens. moyen	4,98		19,4		34,5		17,3		12,21			

module : 6,6 m³/s.



TSANAGA à MAROUA

Débits moyens journaliers en 1968

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date

des.

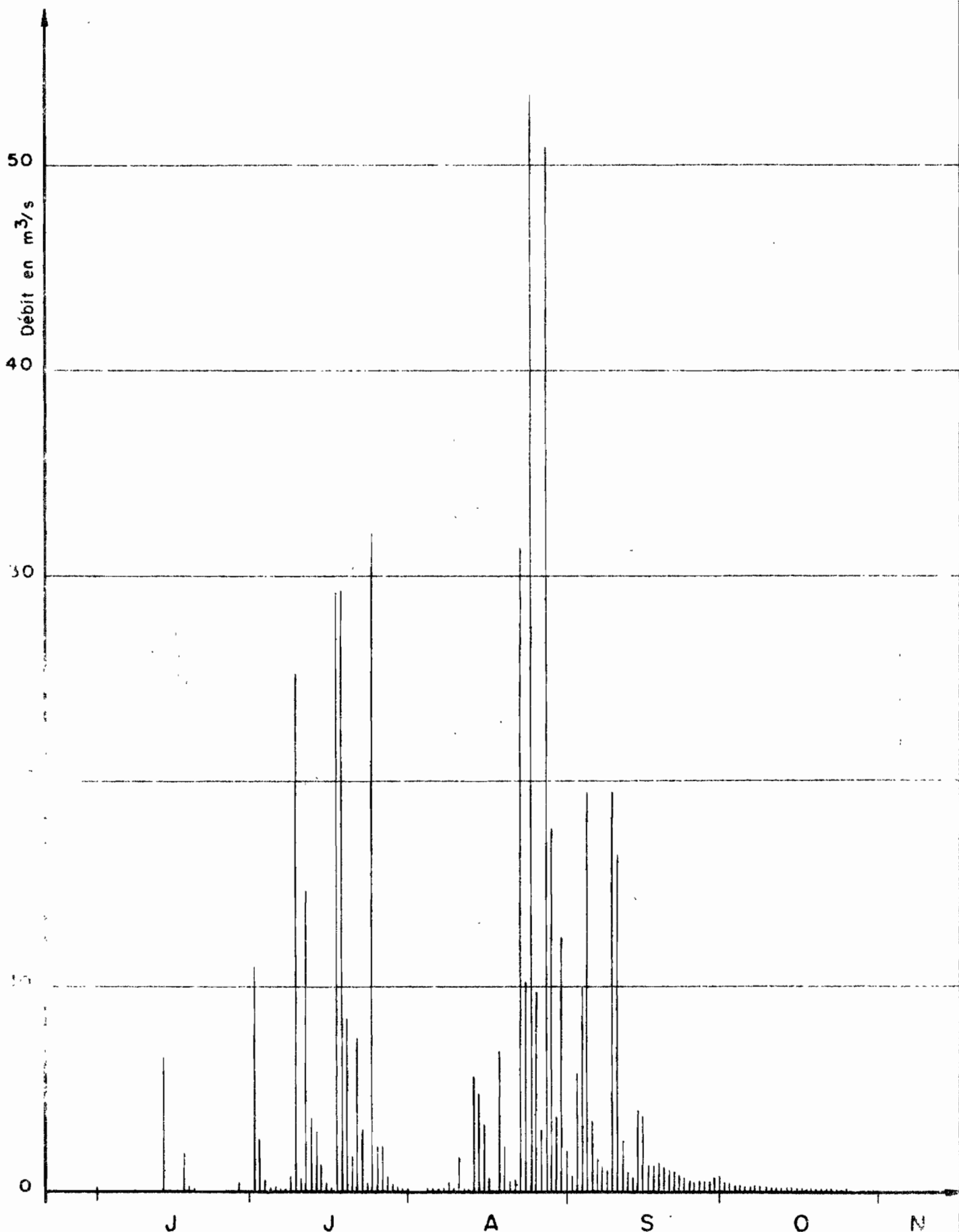
--

TABLEAU XIII
KALLIAO à MAROUA
ANNEE 1968

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O		N
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	
1							1,86		0,75		
2			10,85	50,6			0,65		0,44		
3			2,50				5,67		0,33		
4			0,50				9,89		0,25		
5			0,10		0,01		19,37	45,0	0,22		
6			0,16		0,02		3,44		0,20		
7					0,01		1,52		0,180		
8					0,01		1,17		0,170		
9			0,69		0,37		0,96		0,160		
10			25,78	89,0	0,08		19,47	59,2	0,140		
11			0,55		1,56		16,31		0,115		
12			14,51	78,2	0,11		2,34		0,100		
13			3,56		0,01		0,85		0,082		
14	(6,5)		2,86		5,53		0,55		0,070		
15			1,20		4,72		3,90		0,060		
16			0,330		3,21		3,56		0,050		
17			0,175		0,55		1,62		0,042		
18	1,84		0,025		0,01		1,20		0,037		
19	0,22		29,16	123	6,78	30,5	1,17		0,024		
20	0,10		8,33		2,09		1,39		0,015		
21			1,64		0,44		1,17		0,010		
22			7,37		0,50		0,96		0,006		
23			2,90		31,31	97,4	0,96		0,004		
24			0,38		10,18		0,75		0,003		
25			31,97	132	53,50	209	0,65		0,002		
26			2,15		9,46		0,50		0,001		
27			2,13		2,91		0,44				
28			0,56		50,72	(252)	0,44				
29	0,41		0,27		17,63		0,33				
30			0,21		3,56		0,55				
31			0,02		12,36						
Débit mens moyen	0,30		4,87		7,02		3,45		0,11		

module : 1,33 m³/s.



KALLIAO à MAROUA

Débits moyens journaliers en 1968

TABLEAU XIV

TSANAGA à BOGO

ANNEE 1968

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1			8,5		15,6	29,7	75,9	108	3,6	
2			2,0		9,2		41,7		4,6	
3			10,2	24,4	6,0		25,9		4,1	
4			10,5		4,1		35,8	73,5	3,1	
5			6,9		3,6		51,3		2,4	
6			12,5		4,1		70,1	93	3,6	
7			31,8	55,0	11,7		37,1		5,2	
8			10,9		7,2		23,6		3,6	
9			8,3		5,8		20,3		2,2	
10			11,8		5,2		15,3		1,85	
11			42,9	90,6	4,6		48,2	107	1,50	
12	0,2	0,2	22,8	66,0	8,5		49,2		1,35	
13	13,8		32,5		24,4	34,5	22,8		0,95	
14	41,7	57,8	16,7		11,3		15,7		0,65	
15	13,2		14,8		17,8	36,1	10,0		0,45	
16	6,6		21,9		31,3	54,0	10,4		0,32	
17	7,4		15,3		36,8	45,5	12,4		0,23	
18	6,4		9,8		28,8		10,8		0,18	
19	2,6		8,5		19,1		7,8		0,12	
20	2,2		87,0	167	32,3	82,8	8,5		0,08	
21	1,8		78,6		40,1		11,6		0,060	
22	1,5		34,0		57,7	132	10,4		0,030	
23	1,2		27,6		96,3		10,4		0,015	
24	0,9		28,9		169,3	194	8,8		0,008	
25	0,7		17,6		163,1		7,2		0,006	
26	0,5		64,6	108	182,3	(225)	6,5		0,004	
27	0,4		27,1		108,6		5,8		0,002	
28	0,3		23,0		70,8		4,9	fin écoulement		
29	0,2		19,5		125,4	190	4,1			
30	0,1		11,8		109,9		3,6			
31			9,6		62,3					
Débit mens. moyen	3,4		23,4		46,2		21,9		1,3	

module : 8,1 m³/s.

100
75
50
25
0

3/s
m
Débit en

163.1
169
125.4

J J A S O

TSANAGA à BOGO

Débits moyens journaliers en 1968

TABLEAU XV

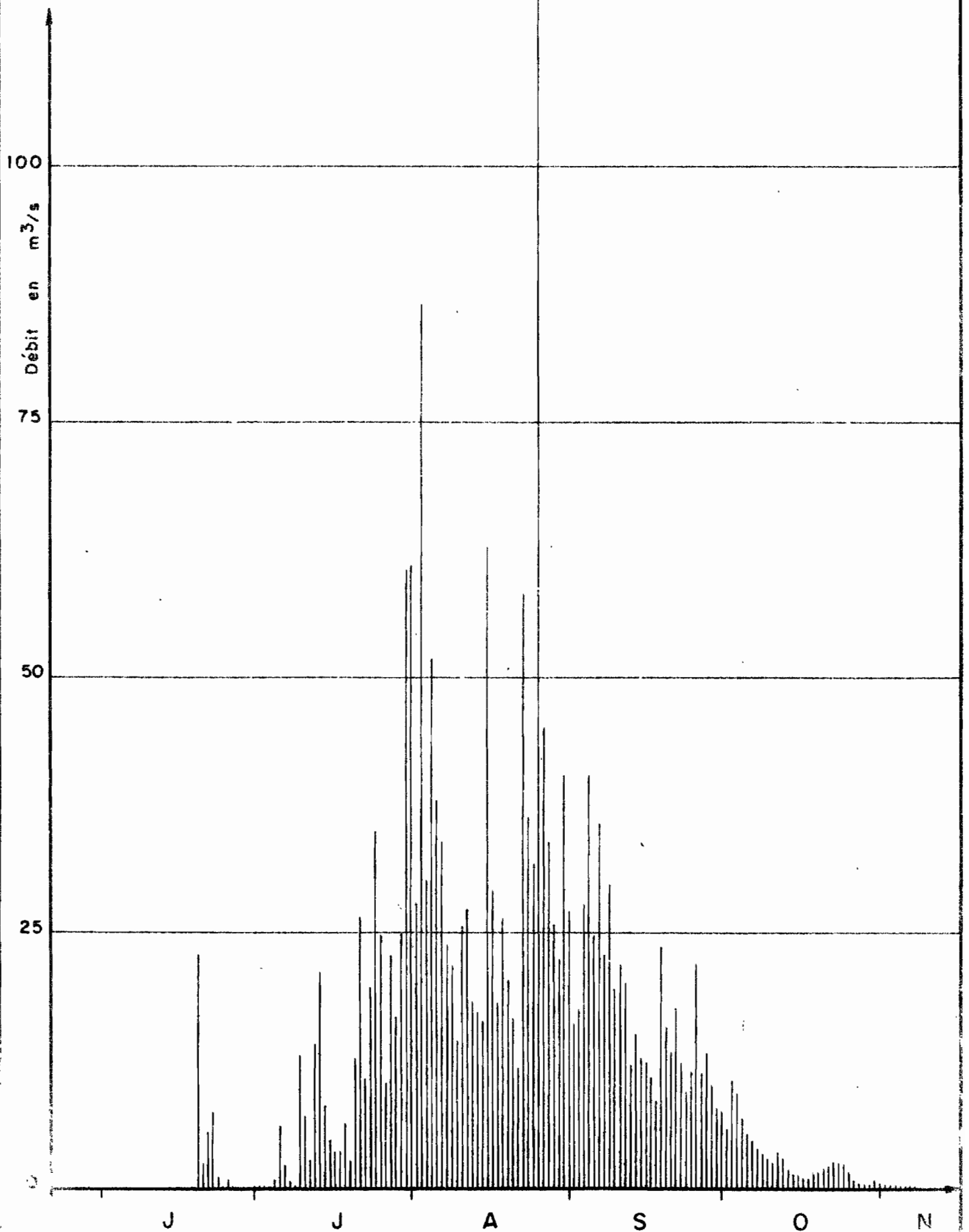
TSANAGA à MAROUA

ANNEE 1969

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O		N	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1			0,15		60,9	(118)	27,0		7,43		0,450	
2			0,25		27,7		16,0		5,57		0,240	
3			0,06		86,4	(169)	17,3		10,5	25,0	0,190	
4			0,03		(30,0)		27,6	62,8	9,30		0,135	
5			0,885		(51,8)	(103)	40,4		6,72		0,040	
6			5,90	14,7	37,8	63,8	24,8		5,20		0,014	
7			2,16		33,7	65,6	35,6	53,0	4,50		0,010	
8			0,665		23,7		22,9		3,80		0,075	
9			0,100		21,7		29,6	41,0	3,30			
10			13,0	27,2	14,3		19,4		2,80			
11			(7,00)		25,5	38,0	21,9	32,0	2,40			
12			2,70		27,3		(20,0)		3,50	9,20		
13			14,0	25,0	18,2		12,0		2,80			
14	20,0		21,0	63,8	17,1		15,0		1,80			
15			8,00		16,3		12,7		1,35			
16		65,5	4,58		62,7	(166)	12,3		1,15			
17			3,50		29,1		10,8		0,98			
18			3,60		18,0		8,47		0,85			
19			6,25		26,4		23,6	48,9	1,25			
20	22,7	77,5	2,66		20,4		15,7		1,50			
21	2,14		12,6	27,2	16,5		13,3		1,73			
22	5,37		26,5	50,0	11,6		17,5	38,2	2,00			
23	7,45	36,0	10,6		58,4	(130)	12,2		2,50			
24	1,06		19,6	31,0	36,4		9,40		2,40			
25	0,07		34,9	77,5	31,7		11,4		2,30			
26	0,80		24,8	39,5	119	(235)	21,9	45,1	1,50			
27	0,08		10,3		45,0		11,1		0,770			
28	0,07		22,6	48,5	33,8		13,1	25,0	0,450			
29	0,015		16,7		25,8		10,0		0,250			
30	0,012		25,0	45,5	22,3		7,72		0,175			
31			60,3	(157)	40,1	58,4			0,600			
Débit mens. moyen	1,99		11,6		35,1		18,0		2,95		0,036	

module : 5,9 m³/s.



TSANAGA à MAROUA

Débits moyens journaliers en 1969

C.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date des.

TABLEAU XVI

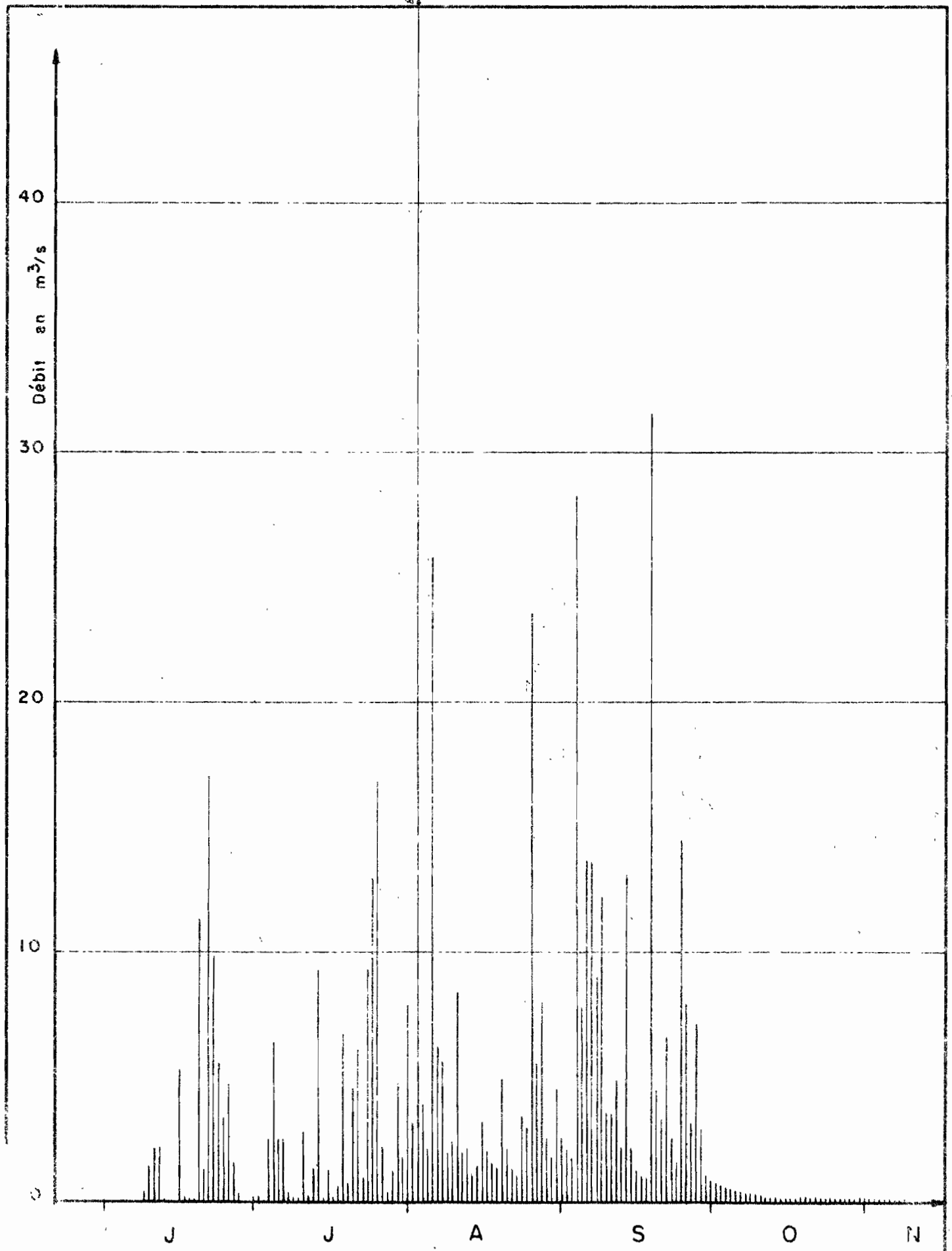
KALLIAO à MAROUA

ANNEE 1969

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O		N	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1			0,170		7,86	23,9	2,55		0,800		0,095	
2			0,210		3,17		2,00		0,700		0,060	
3			0,010		87,2	(330)	1,70		0,610		0,034	
4			2,48		3,85		28,2	78,0	0,535		0,022	
5					2,03		7,71		0,475		0,020	
6			6,37		25,8	101	13,6	70,5	0,400		0,018	
7			2,42		6,17		13,5		0,350		0,011	
8			0,325		5,58		9,0	44,7	0,305		0,007	
9	0,355		0,075		1,99		12,2		0,265		0,004	
10	1,31		0,070		2,38		3,50		0,230			
11	2,08		2,77		8,32	25,1	3,42		0,200			
12	2,14	11,5	0,20		1,91		4,87		0,175			
13	0,032		1,33		2,10		2,17		0,150			
14			9,25	50,6	1,00		13,0	28,6	0,130			
15			0,12		1,38		2,10		0,098			
16	5,25	23,9	1,22		3,19		1,20		0,075			
17	0,200		0,10		1,98		1,00		0,060			
18	0,075		0,58		1,58		30,90		0,048			
19	0,025		6,70	23,9	1,30		31,5	89,4	0,125			
20	11,3	50,1	0,63		4,85	14,35	4,42		0,190			
21	1,20		4,58	28,6	2,07		3,29		0,137			
22	17,0	97,0	6,04		1,25		6,54		0,110			
23	9,79		0,93		1,00		2,50		0,100			
24	5,58	19,0	9,2		3,40		1,55		0,090			
25	3,33	6,70	12,9	33,4	2,91		14,4	55,3	0,074			
26	4,71	8,30	16,9	41,0	23,5	59,9	7,88		0,062			
27	1,58		2,08		5,50		3,07		0,056			
28	0,300		0,35		7,93	15,1	7,02	17,8	0,048			
29			1,21		2,42		2,85		0,038			
30			4,68		1,73		1,00		0,033			
31			1,69		4,45				0,160			
Débit mens. moyen	2,21		3,08		7,41		6,56		0,220		0,009	

module : 1,63 m³/s.



KALLIAO à MAROUA

Débits moyens journaliers en 1969

TABLEAU XVII

TSANAGA à BOGO

ANNEE 1969

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O		N	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1			0,040		83,2	125	57,8	70,5	8,33		0,015	
2			0		56,7		32,2		7,50		0,006	
3			0		126	208	19,9		6,50		0,005	
4			0		103		32,3		9,15		0,004	
5			0		82,7	138	87,5	102	9,15		0,003	
6			4,04	24,4	76,3	122	46,8		5,94		0,002	
7			19,0		94,1		60,6	82,8	4,60			
8			8,17		49,0	52,8	47,2		3,90			
9			2,29		35,8		52,0	70,5	2,80			
10			0,90		28,0	34,0	33,0		2,10			
11			0,90		27,9	47,8	22,5	28,6	1,60			
12			10,7	15,1	40,5	44,3	24,9	32,9	1,21			
13			4,54		28,6		21,7		3,40			
14			28,8	61,0	19,8		36,5	54,0	2,45			
15			14,9		19,4	23,6	32,0		1,75			
16			6,50		50,0		18,4		1,30			
17	12,0	20,7	5,50		90,8	140	14,3		0,96			
18	4,92		4,87		33,8		11,0		0,70			
19	0,33		8,29	18,4	24,2	31,3	36,0	77,7	0,51			
20	4,46	26,5	9,58		21,5		33,1	35,1	0,36			
21	12,9		5,12		26,7	38,4	17,5		1,10			
22	3,88		38,4	55,3	16,5		17,9	28,6	1,50			
23	25,2	49,0	22,6		31,9	79,4	25,9	27,6	2,15			
24	8,71		18,1		38,7		15,3		2,75			
25	6,87	10,8	40,3	70,0	44,2	59,0	9,9		2,70			
26	6,58		55,5	76,0	83,5		36,9	56,5	1,80			
27	11,2	14,2	37,8		139	194	30,5		1,20			
28	2,75		15,4		80,8		19,2	21,7	0,47			
29	0,62		27,5	37,8	53,8		16,8		0,20			
30	0,15		25,5		35,7		10,9		0,088			
31			49,9	105	32,8				0,036			
Débit mens. moyen	3,35		15,0		54,0		30,7		2,85		0,001	

module : 8,90 m³/s.

Débits en m³/s

100

75

50

25

0

J J A S O N

TSANAGA à BOGO

Débits moyens journaliers en 1969

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date des.

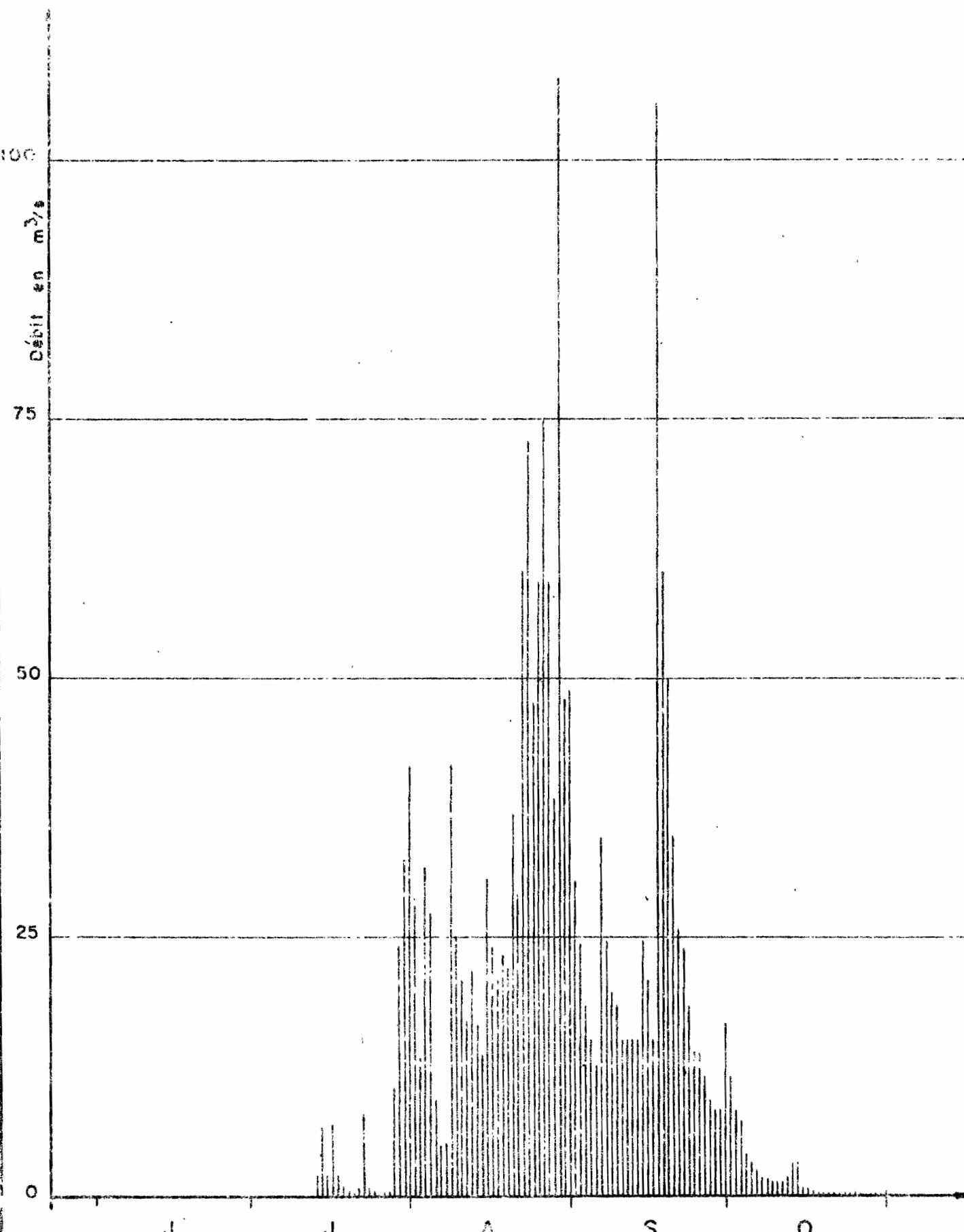
--

TABLEAU XVIII
TSANAGA à MAROUA
ANNEE 1970

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		A		S		O
	Q moy.	Q max.	Q moy.	Q max.	Q moy.	Q max.	Q moy.
1			41,5		48,8		16,6
2			28,8		30,4		11,5
3			13,3		24,3		8,2
4			(31,6)		18,4		7,1
5			(27,2)		15,0		4,0
6			9,3		12,7		8,2
7			5,0		34,6		2,5
8			5,0		24,6		1,8
9			(41,6)		19,6		1,8
10			(25,0)		18,4		1,3
11			20,8		15,0		1,3
12			16,7		15,0		1,3
13			21,8		15,0		1,8
14	(2,0)		16,5		15,0		3,2
15	6,6		13,5		24,6		3,2
16	1,9		30,6	69	20,7		0,8
17	7,0		24,0		15,0		0,6
18	2,0		20,8		105,4	227	0,4
19	1,0		23,3		60,4		0,25
20	0,7		22,1		50,0		0,25
21	0,1		36,8		34,7		0,25
22	0,7		29,1		25,6		0,20
23	7,9	17,4	60,4	134	23,9		0,15
24	0,8		72,9	142	18,4		0,15
25	0,4		47,5		13,8		0,15
26	0,1		59,2		13,8		0,40
27	0,3		75,0	149	11,5		0,10
28	0,4		59,2		9,3		0,05
29	10,4		38,3		8,2		0,03
30	24,1	40,5	107,9	177	8,2		0,02
31	32,5	155	47,9				
Débit mensuel moyen	3,2		34,6		25,0		2,34

module : 5,46 m³/s



TSANAGA à MAROUA

Débits moyens journaliers en 1970

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique	date	des.	

TABLEAU XIX
KALLIAO à MAROUA
ANNEE 1970

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1			-		6,33		14,95		1,400	
2			-		22,75	73	4,34		1,100	
3			-		1,50		2,92		0,800	
4			(0,2)		46,92	148	2,34		0,600	
5			-		2,63		20,50		0,400	
6			-		0,90		1,84		0,250	
7			0		0,70		2,34		0,200	
8			-		17,33		2,92		0,160	
9			-		30,65	74	2,50		0,130	
10			-		1,00		2,05		0,110	
11			-		0,80		1,84		0,090	
12			(0,2)		6,34		2,34		0,070	
13			-		4,70		2,35		0,065	
14			-		1,00		2,35		0,060	
15			(0,40)		0,70		6,42		0,055	
16			(0,10)		7,94		2,34		0,053	
17			(0,04)		0,70		1,63		0,051	
18			(0,05)		1,42		28,00	86	0,048	
19			0,02		1,10		10,33		0,045	
20			0,01		0,50		11,25		0,043	
21			0,00		(1,40)		3,50		0,042	
22			53,70	160	10,80	73	2,92		0,038	
23			3,9		6,56		2,92		0,036	
24			4,0		6,06		2,30		0,034	
25			1,6		10,52	82	1,70		0,032	
26	(0,80)		1,56		3,50		1,60		0,031	
27	0		1,35		106,16	389	1,60		0,029	
28	-		2,35		19,00		1,50		0,027	
29	-		35,41	92	9,20		1,50		0,025	
30	-		6,33		23,20		1,90		0,020	
31	-		5,42	21,2	6,67					
Débit mensuel moyen	0,03		3,44		11,90		4,90		0,195	

module : 1,79 m³/s.

Débits en m³/s

40

30

10

0

J J A S O

KALLIAO à MAROUA

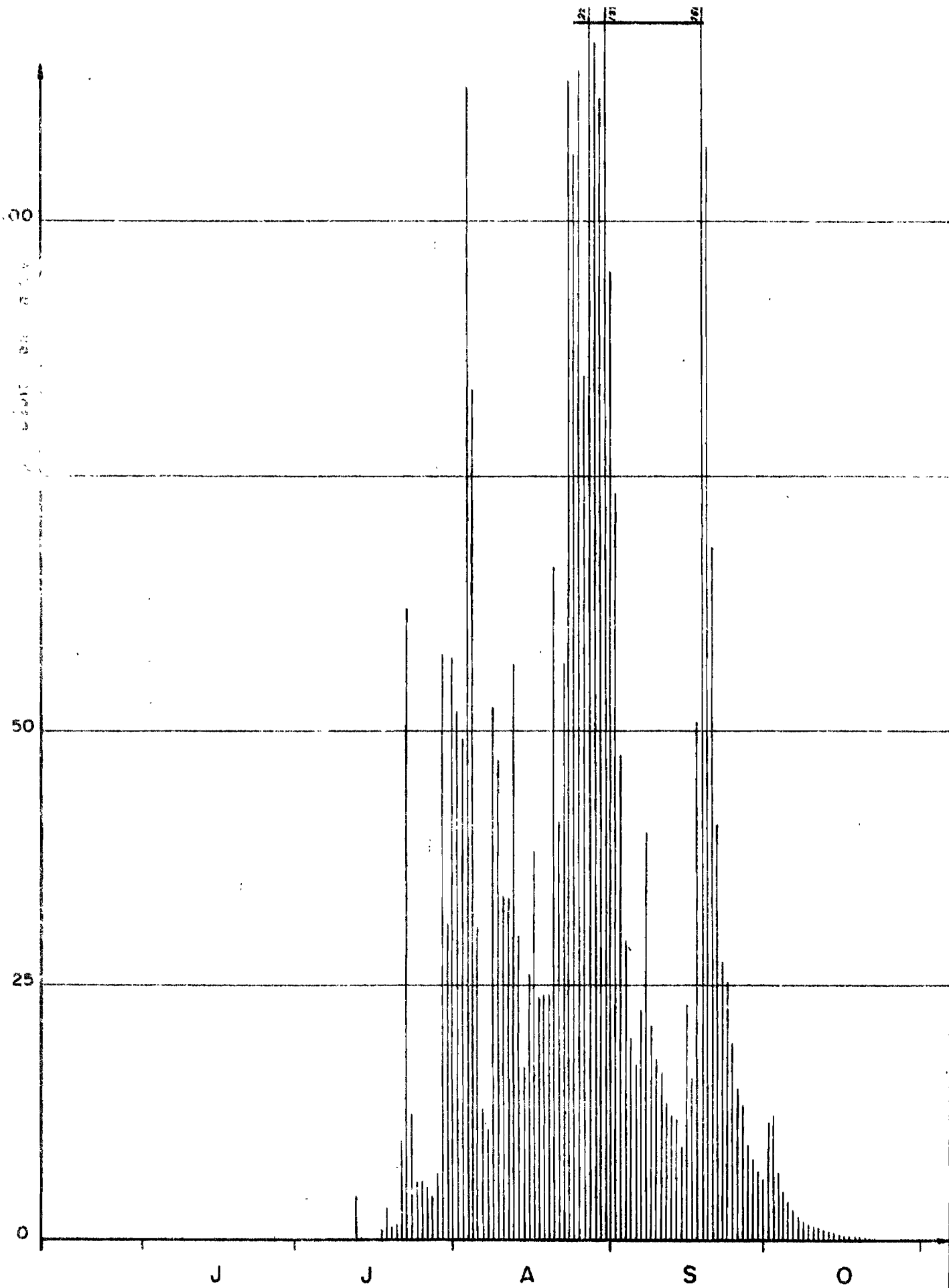
Débits moyens journaliers en 1970

TABIEAU XX
TSANAGA à BOGO
ANNEE 1970

Débits moyens journaliers en m³/s

Jours	J		J		A		S		O	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1					57,2	97	95,0		5,8	
2					52,0	105	73,0		11,4	
3					49,1		42,5		12,1	
4					113,1	195	29,4		6,5	
5					83,5		19,8		4,6	
6					30,6		17,1		3,6	
7					12,9		22,5		2,9	
8					10,6		40,0		2,2	
9					52,3	107	21,0		1,8	
10					47,1		17,7		1,5	
11					33,7		16,3		1,3	
12					33,5		13,4		1,1	
13			(4,3)		56,5	70	12,1		0,9	
14			(0,1)		29,8		11,8		0,8	
15			0		16,9		9,1		0,6	
16			0		26,0	68	23,1		0,5	
17			0		38,1		15,8		0,4	
18			0,9		23,8		50,8		0,4	
19			3,2		24,0		161,0	196	0,3	
20			1,2		24,0	79	107,1		0,2	
21			1,5		66,0		67,9		0,09	
22			9,6		41,0	72	40,8		0,03	
23			62,0	125	56,5	112	27,7		0,01	
24			12,4		113,8	143	25,2			
25			5,8		106,5	136	19,2			
26			(5,8)		109,8		14,8			
27	0,1		(5,1)		84,8		13,1			
28			4,3		221,4	258	9,2			
29			6,4		117,5		7,8			
30			57,5		112,0	198	6,5			
31			31,0		137,9					
Débit mensuel moyen	0		6,8		63,9		34,4		1,9	

module : 9,0 m³/s.



TSANAGA à BOGO

Débits moyens journaliers en 1970

ORSTOM

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS 8^e

Centre ORSTOM de Yaoundé :

B.P. 193 – YAOUNDE

République Unie du Cameroun